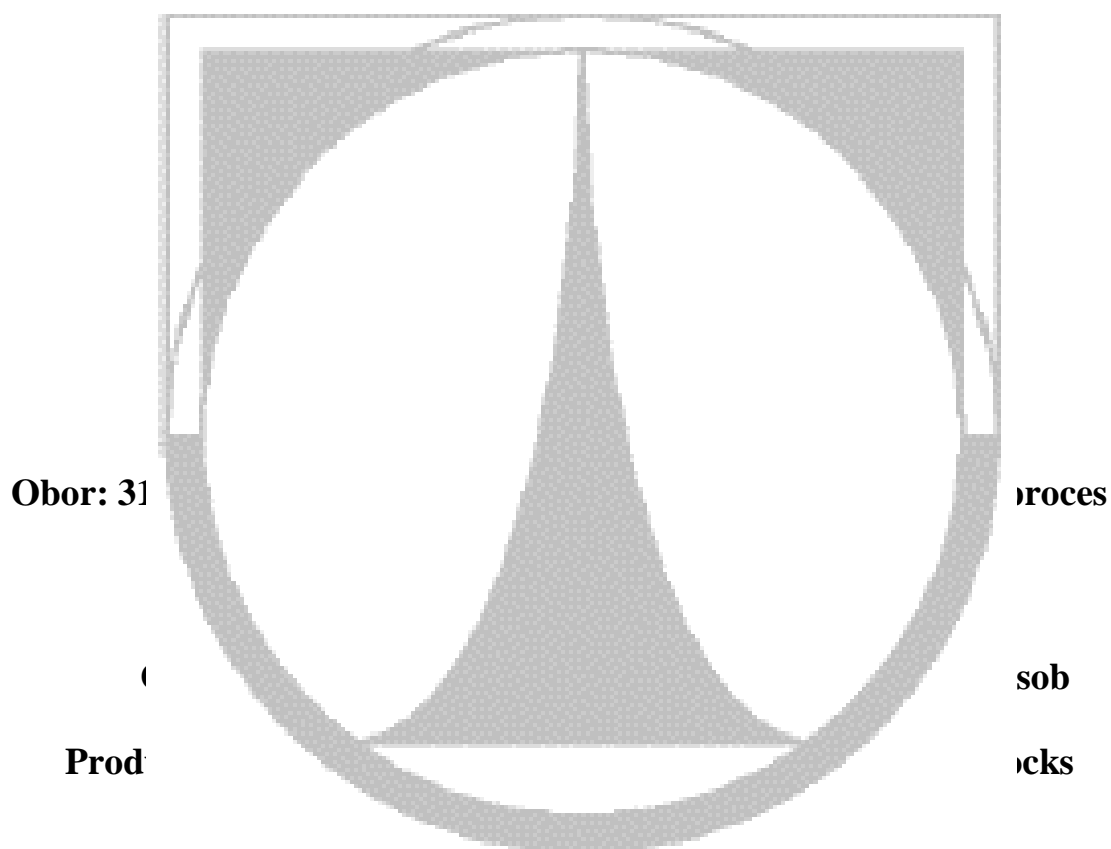


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

---



**Marek Karaffa**

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Počet stran: 78

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 50

V Liberci 16. května 2005

**Anotace:**

1. Teoretická část je zaměřena na možnosti simulace a optimalizace diskrétních událostí v prostředí Witness.
2. V praktické části se diplomová práce zabývá vytvořením modelu simulujícího konkrétní výrobní proces s následnou optimalizací, pomocí optimizeru 4.1 programu Witness 2004.

**Annotation:**

1. The theoretical part deals with possibilities to simulate and optimize discrete events in Witness environment.
2. The practical part of this thesis is engaged in developing a model stimulating a concrete production process, with subsequent optimization with the help of 4.1 program optimizer Witness 2004.

**Klíčová slova:**

Simulace, Optimalizace, Witness

**Key words:**

Simulation, Optimization, Witness

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Doc. Dr. Ing. Zdeňku Kásovi a Ing. Romanu Erbenovi za konzultace a připomínky k mé práci, i navzdory pracovní vytíženosti.

# Obsah

<b>1</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>ZADAVATEL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
1.1.1	Informace o společnosti BRANO Group.....	10
1.1.2	Lenina společnost.....	10
1.1.3	Výrobky společnosti.....	11
<b>1.2</b>	<b>WITNESS.....</b>	<b>12</b>
1.2.1	Moduly programu WITNESS.....	12
1.2.2	Možnosti využití simulačních softwarů .....	13
<b>1.3</b>	<b>MODELOVÁNÍ A OPTIMALIZACE VÍCE PRODUKTOVÝCH VSÁDKOVÝCH PROCESŮ .....</b>	<b>14</b>
1.3.1	Charakteristika.....	14
1.3.2	Popis více produktových vsádkových procesů .....	14
1.3.3	Simulační modely více produktových procesů .....	16
1.3.4	Optimalizace simulačního modelu.....	17
1.3.5	Příklad optimalizace výrobního plánu.....	18
1.3.6	Diskuse výsledků .....	19
1.3.7	Závěry.....	22
<b>1.4</b>	<b>KANBAN.....</b>	<b>23</b>
1.4.1	Výhody systému řízení kanban.....	23
1.4.2	Princip činnosti systému kanban .....	23
1.4.3	Příklad zavedení systému kanban.....	24
1.4.4	Implementace systému kanban .....	26
<b>1.5</b>	<b>POUŽITÍ DYNAMICKÉ SIMULACE V ŽDB A.S.....</b>	<b>27</b>
1.5.1	Sestavení modelu .....	28
1.5.2	Simulační experimenty.....	30
1.5.3	Závěry.....	32
<b>1.6</b>	<b>OPTIMALIZACE V TŘÍKROVÉM PRŮMYSLU.....</b>	<b>32</b>
1.6.1	Popis modelu .....	32
1.6.2	Popis simulace.....	34
1.6.3	Závěry.....	35
<b>1.7</b>	<b>OPTIMALIZACE PO ADÍ PLNĚNÍ POŽADAVKŮ POMOCÍ WITNESS OPTIMIZERU .....</b>	<b>36</b>
1.7.1	Popis problému.....	36
1.7.2	Definice modelové úlohy .....	37
1.7.3	Postup řešení.....	37
1.7.4	Výhody řešení.....	42
1.7.5	Slabá místa řešení .....	42
<b>1.8</b>	<b>OPTIMALIZAČNÍ ALGORITMY .....</b>	<b>42</b>

1.8.1	Horolezecké algoritmy.....	43
1.8.2	Slepý algoritmus .....	43
1.8.3	Horolezecký algoritmus – Hill limb.....	44
<b>1.9</b>	<b>WITNESS OPTIMIZER 4.1.....</b>	<b>46</b>
1.9.1	Stručná charakteristika jednotlivých algoritmů : .....	47
<b>1.10</b>	<b>VÝBĚR VHDNÉHO OPTIMALIZAČNÍHO ALGORITMU .....</b>	<b>48</b>
1.10.1	Testování .....	48
1.10.2	Účelová funkce .....	48
1.10.3	Zhodnocení .....	49
1.10.4	Použití alternativních algoritmů .....	50
1.10.5	Závěry.....	51
<b>2</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>52</b>
<b>2.1</b>	<b>NASTÍHNUTÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....</b>	<b>52</b>
<b>2.2</b>	<b>VYTVOŘENÍ MODELU.....</b>	<b>53</b>
<b>2.3</b>	<b>VERIFIKACE MODELU.....</b>	<b>53</b>
<b>2.4</b>	<b>POPIS MODELU .....</b>	<b>54</b>
2.4.1	Pístnice.....	56
2.4.2	Pracovní válec.....	57
2.4.3	Vnější válec a krycí trubka .....	57
2.4.4	Montáž.....	58
2.4.5	On-line informace z hlavního okna .....	59
2.4.6	Okno pracovních grafů .....	61
2.4.7	Graf rozpracovanosti.....	62
2.4.8	Pracovní okno .....	63
<b>2.5</b>	<b>OPTIMALIZACE .....</b>	<b>64</b>
2.5.1	Účelová funkce.....	65
2.5.2	Optimalizace metodou Six sigma.....	66
2.5.3	Optimalizace metodou Hill Climb.....	67
2.5.4	Optimalizace metodou Min/Mid/Max.....	68
2.5.5	Optimalizace metodou Random Solutions.....	69
2.5.6	Optimalizace metodou Adaptive Thermostatical SA .....	70
2.5.7	Optimalizace metodou All Combinations.....	71
2.5.8	Zhodnocení optimalizace.....	72
2.5.9	Diskuse výsledků optimalizace .....	75
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>77</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>78</b>

## Úvod

Cílem moderních společností je udržení a expandování ve svém oboru i v tvrdém konkurenčním boji. Pro nové produkty je vždy potřebné dosáhnout vynikajících výsledků v klíových faktorech. To jsou především vysoká kvalita, nízké náklady, široká výrobní variantnost, krátké výrobní doby. Požadavky na výrobní a logistické toky, které v sobě kromě jiného zahrnují i disciplínu v dodavatelských vztazích, nízkou kapitálovou vázanost, nízkou hladinu zásob a plnění naplánovaného výrobního programu. Kromě už vzpomínaných faktorů musejí vedoucí pracovníci mít na zeteli nesčetné množství dalších. [3]

V dnešním světě, kde se na nás valí mnoha informačními kanály velké množství informací, máme ztíženou možnost správně se rozhodovat. Schopnost správně odhadnout situaci prostřednictvím pouhého spolehnutí se na intuici a zkušenost je ovlivněna mnoha faktory tvořícími externí a interní šum. Při rozhodování o tom, která z vytvořených hypotéz má být implementována, se dopouštíme různých, více i méně známých chyb. Často máme příliš vysoké mínění o úrovni svého porozumění systému. Myslíme si, že naše odhady jsou lepší, než ve skutečnosti jsou. [15]

Jednou z možností, jak minimalizovat riziko spojené s nesprávným rozhodnutím, je modelování a simulace. Zkoumaný systém provedeme na množinu prvků s vlastními charakteristikami a nejastěji pomocí výpočtové techniky zkoumáme vliv změn na chování celého systému.

Táto práce v teoretické části informuje o několika konkrétních případech, kdy se za pomoci simulačních modelů povedlo úspěšně optimalizovat pozorovaný systém. Dále pak popisuje evoluční algoritmy, jejichž úkolem je minimalizovat čas a úsilí vynaložené při experimentování s modelem. V praktické části je podle konkrétního výrobního systému sestaven simulační model. Za pomoci optimalizačního modulu programu Witness 2004 se pokouší o nalezení optimálních hodnot pro simulovaný model, při použití různých optimalizačních metod.

# 1 Teoretická část

V této části jsou popsány informace o zadavateli diplomové práce, program WITNESS a jeho využití pro simulaci a optimalizaci diskretních událostí.

## 1.1 Zadavatel diplomové práce

BRANO GROUP, konkrétně SBU Commercial Vehicles (užitkové vozy) nabídla TU v Liberci možnost zadání diplomové práce na téma optimalizace výroby s cílem snížení mezioperačních zásob.

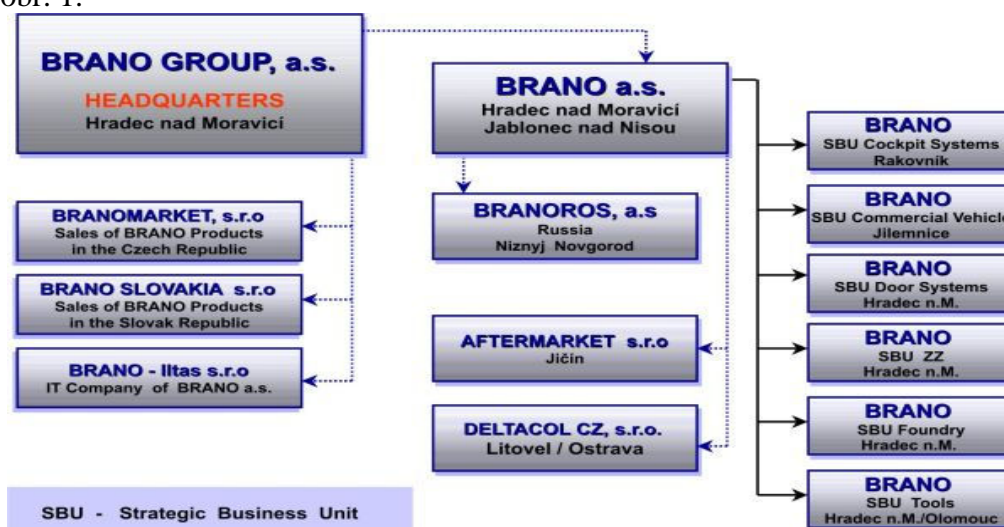
### 1.1.1 Informace o společnosti BRANO Group

*Slogan firmy:* **BRANO GROUP** -zámkový, zvedákový a autodíly pro všechny systémy

BRANO group je dynamickou společností vybudovanou na dlouholeté tradici. Je vývojovým partnerem orientujícím se na kvalitní elektromechanické výrobky, zejména výrobky pro automobilový průmysl, zamykací a zavírací systémy, manipulační techniku a drobné odlitky.

### 1.1.2 Struktura společnosti

Viz obr. 1.



Obrázek 1. Struktura společnosti na strategické řídicí jednotky

### 1.1.3 Výrobky společnosti

#### *Kokpitové systémy:*

- Pedálové ústrojí sloužící k ovládání hydraulického brzdového systému, mechanické spojky a k ovládání klapky karburátoru nebo vstřikovacího čerpadla.
- Páka ruční brzdy
- Autozvedáky

#### *Dveňové systémy:*

- Nájezdy
- Závěsy
- Zámkové systémy

#### *Užitková vozidla:*

- Teleskopické kapalinové tlumiče
- Houkačky
- Topení

#### *Slévárna:*

- Všechny druhy litin s bílým lomem dle SN EN 1562
- Litina s kulíkovým grafitem dle SN EN 1563 (SN 422305)
- Bílá litina nelegovaná
- Velikost odlitků:
  - max. rozměry 200 x 250 x 100 mm
  - hmotnost 0,02 až 2,5 kg/ks

#### **Tavení**

Středofrekvenční indukční kelímkové pece, řízené počítačem.

#### **Formy**

Betonitové syntetické směsi na sirovo.

#### **Jádra**

Metoda Croning 90% Cold Box 10%

#### **Tepelné zpracování**

Cyklické a kontinuální pece s řízenou oduhliující atmosférou.



*Další sortiment:*

- Zavíra e dve í pro zavírání dve í až do ší ky 150 cm a hmotnosti 120 kg.
- Zvedací za ízení slouží ke zvedání, tažení pop ípad tla ení b emen v podmínkách, kde jediným zdrojem hnací síly je lov k. [8]

## **1.2 WITNESS**

Witness je interaktivní vývojový systém, program pro simulaci, optimalizaci a vizualizaci výrobních, obslužných i logistických systému britské společnosti Lanner Group Ltd. Je navržen tak, aby jej mohli aktivn používat i manaže i, kte í nemusí být zkušení uživatelé po íta , tzn. uživatelé st ední úrovn . Tento nástroj má velký okruh využití jak u systém diskrétních tak i spojitých.

### **1.2.1 Moduly programu WITNESS**

Program *Witness* je sestaven z n kolika modul . Konkrétn se jedná o:

- *Witness* - umož ũje dynamicky zobrazovat stavy zvolených prvk , provád né operace i aktuální využití zdroj . Zárove jsou události, které v modelu nastali zaznamenávané, což umož ũje sledovat a vyhodnocovat systém dle zvolených kritérií. M že být použitý k analýze jakýchkoliv proces , kde je zapot ebí zkoumat dopad navržených zm n a podložen posuzovat alternativy ešení. D ležitá je možnost interaktivní práce se studovaným modelem.
- *Optimizer* - modul navržený s cílem minimalizovat úsilí a as vynaložené p i experimentování s modelem. S použitím vysp lých optimaliza ních algoritm je možné najít optimální parametry sledovaného systému.
- *Documentor* - modul ur ený k vytvá ení dokumentace simula ních model .
- *Miner* - využíván pro získávání a vyhodnocování dat.
- *VR* - virtuální realita, 3D grafika umož ũje práci s reálnými rozm ry sledovaných prvk v modelu.
- *SDX* - je ur en pro po íta em podporované projektování a vým nu dat.

- *VISIO* - nástroj pro simulaci model vytvořených jako diagramy programu Microsoft VISIO. Umožňuje využívat simulačních vlastností programu *Witness*. [13]

Více informací o programu a o popise sestavování modelu je možno nalézt v literatuře [5].

### 1.2.2 Možnosti využití simulačních softwar

Obecně mezi výhody simulačních softwar patří přiblížení simulovaného procesu, vyhledání rizikových míst, i snížení nákladů při vytváření projektu. Použitím programu lze docílit zvýšenou výkonnost a efektivitu simulovaných procesů. Opodstatňuje, nebo vyvrací intuitivně navrhované změny. Kromě jiného zvyšuje důvěryhodnost u zákazníků. V době, kdy se člověk potěává orientovat ve velkém množství dat, která na něj doléhají ze všech stran, se našťstí objevují nástroje podporující efektivní řízení v mnoha odvětvích. Například:

#### Obecné:

- logistická analýza,
- manipulace s materiálem,
- optimalizace sortimentu,
- analýza využití strojů,
- modelování distribučních sítí.

#### Výroba:

- plánování kapacit,
- optimalizace výrobních dávek,
- rozmístění výrobních celků,
- snižování rozpracovanosti výroby.

#### Technologie:

- řídicí logika materiálových toků,
- plánování výrobních postupů,
- optimalizace kapacity výrobní technologie.

#### Služby:

- analýza obslužných časů,
- vyhodnocování péřážkových časů,

- optimalizace využití pracovních sil. [1]

### ***1.3 Modelování a optimalizace více produktových vsádkových proces***

#### **1.3.1 Charakteristika**

Charakteristickým rysem vsádkových proces je pružné využití různorodých zdroj (surovin, aparát, energií, pracovních sil apod.) k výrobě menších množství v daném období různých výrobků. Vsádkové procesy lze rozdělit podle organizace výroby na dva typy: víceúlohové a více produktové.

##### *Víceúlohové:*

Pro víceúlohové procesy je typické použití různorodých technologických postupů na stejné sestavě výrobních zařízení. Výrobní jednotky se sestavují do výrobních linek. Pořadí jednotek ve výrobní lince se pro různé technologie výrazně liší.

##### *Více produktové:*

Více produktové vsádkové procesy lze charakterizovat tím, že se na stejné výrobní lince postupně vyrábí podobnými technologiemi různý počet různých produktů. Výrobní linka se skládá z několika výrobních zařízení. Struktura výrobní linky může být složitější než pouze lineární. Výrobní proces se skládá z výrobních operací, jejichž posloupnost je pro všechny produkty skoro stejná (některé operace mohou být případně vynechány). Odpovídající operace pro různé produkty vyráběné v rámci více produktové vsádkové výroby jsou podobné, navzájem se liší jen fyzikálními a fyzikálně-chemickými parametry, zejména dobou trvání výrobní operace (operacími).

#### **1.3.2 Popis více produktových vsádkových proces**

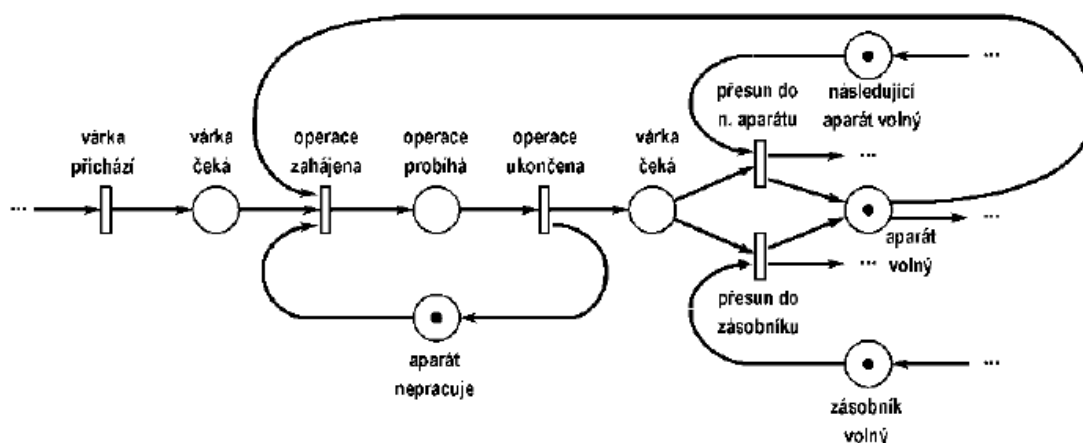
Základními postupy při řízení více produktových vsádkových procesů jsou rozvrhování a plánování. K popisu vsádkových procesů z hlediska rozvrhování a plánování postačí několik jednoduchých integrálních charakteristik, které popisují

asový pr b h výrobních operací (opera ní asy, doby se izování aparát , doby išt ní aparát , doby pln ní nebo vyprazd ování aparát atd.) nebo kapacitní parametry výrobních a transportních za ízení (objemy aparát , objemy propojovacích potrubí).

Systém výroby v rámci více produktového vsádkového procesu představuje racionální využití kapacit výrobních zařízení. Pořadí výroby produktů a jejich vlastní průběh lze uspořádat tak, že dochází k minimálním prostojům výrobních zařízení.

innost aparát ve více produktovém vsádkovém procesu lze popsat pomocí  $n$  kolika základních pravidel. Zjednodušen lze říci, že operaci  $p_i$  i výrob  $n$  kterého produktu lze zahájit, jestliže nastaly  $t_i$  i základní diskrétní události (obr. 2):

- všechny předcházející operace p i výrob produktu byly dokončeny,
- byla dokončena stejná operace p i výrob předcházejícího produktu,
- aparát, na kterém má probíhat operace, není právě používán k došnému skladování meziproduktu.



Obrázek 2. Výrobní operace modelovaná jako systém diskrétních událostí pomocí Petriho sít

Po dokončení výrobní operace nastane jedna ze tří možných diskrétních událostí:

- následující aparát je volný, pak se do něj přesune meziprodukt a aktuální aparát se uvolní pro zpracování dalšího produktu,
- následující aparát není volný a současně mezioperační zásobník je volný, pak se do něj přesune meziprodukt,
- ani následující aparát ani mezioperační zásobník nejsou volné, pak se meziprodukt dočasně skladuje přímo ve výrobním aparátu.

### 1.3.3 Simula ní modely více produktových proces

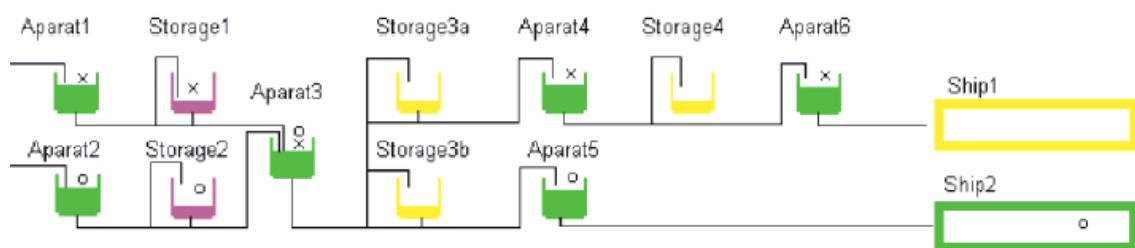
P i modelování více produktových vsádkových proces se výrobní, skladovací a dopravní zařízení charakterizují jednoduchými integrálními parametry, které popisují jejich vlastnosti, hlavn z asového a kapacitního hlediska. Tyto parametry odpovídají úrovni abstrakce, která byla použita p i tvorb modelu. Základním parametrem popisujícím chování diskrétních simula ních prvk je procesní as (doba potřebná na zpracování jedné várky n jakého produktu na ur ítém výrobním za ízení). P i tvorb model ur ených pro ešení konkrétních úkolu je n kdy zapot ebí výrobní operaci, a tedy i tento základní parametr, lenit podrobn ji:

- p íprava nebo se ízení prázdného aparátu p ed na erpáním nové várky,
- p e erpání várky produktu z p edcházejícího aparátu,
- vlastní výrobní operace,
- p e erpání várky produktu do následujícího aparátu,
- íst ní prázdného aparátu po vy erpání zpracované várky.

Pro pot eby plánování více produktového vsádkového procesu posta uje uvažovat procesní asy, do kterých jsou integrovány všechny díl í opera ní asy.

Více produktové vsádkové výrobní procesy (obr. 3) lze v simula ním programovém systému Witness 2003 simulovat pomocí diskrétních simula ních prvk :

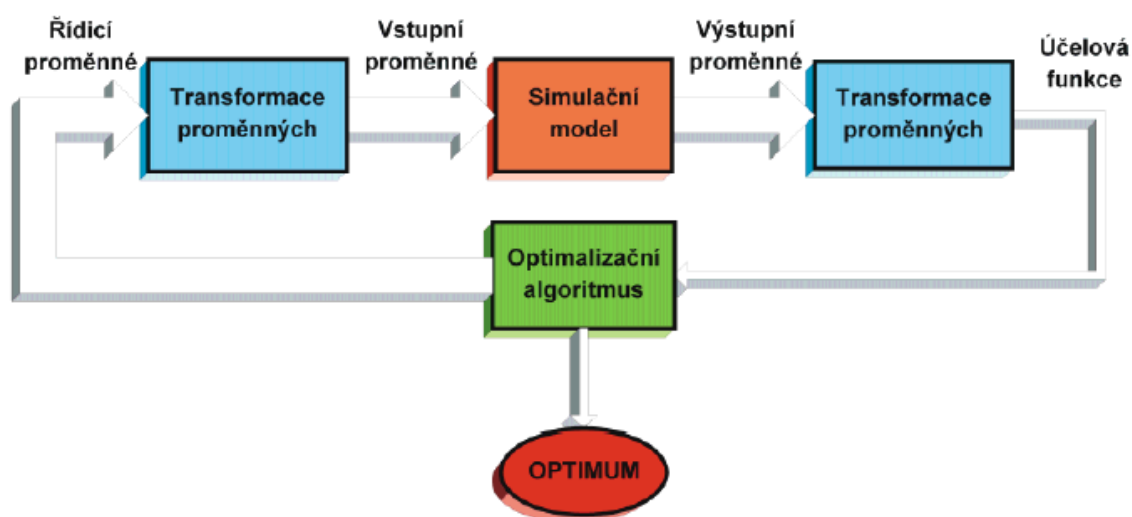
- aparáty se modelují jako diskrétní stroje r zných typ ,
- meziopera ní zásobníky jako diskrétní zásobníky,
- suroviny, meziprodukty a produkty jako diskrétní ásti



Obrázek 3 Simula ní model více produktového vsádkového procesu s meziopera ními zásobníky

### 1.3.4 Optimalizace simulačního modelu

Simulační program Witness 2003 používá k optimalizaci modelů zásuvný modul Optimizer 4.0. Při optimalizaci parametrů modelu pomocí optimalizačního modulu se podle zvoleného algoritmu mění hodnoty optimalizačních proměnných. Jejich transformací se získají vhodné vstupní proměnné simulačního modelu a spustí se vlastní simulace. Po ukončení simulačního běhu se z výstupních proměnných modelu vypočte hodnota účelové funkce. Po jejím automatickém vyhodnocení se nalezené řešení podle parametrů optimalizační metody považuje za optimální nebo se pokračuje v optimalizaci s novými hodnotami optimalizačních proměnných. Optimalizační modul pracuje ve zpětné vazbě simulačního modelu. Schéma spolupráce simulačního modelu a optimalizačního modulu je uvedeno na obr. 4.



Obrázek 4 Schéma spolupráce simulačního modelu a optimalizačního modulu

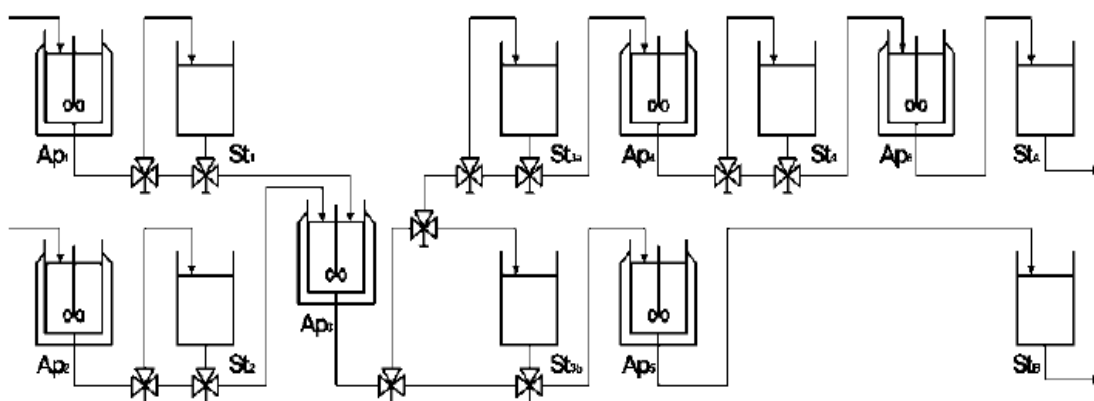
Při optimalizaci lze použít jednu ze šesti optimalizačních metod:

- a) adaptivní termostatické simulované žíhání,
- b) náhodné vyhledávání,
- c) úplná enumerace,
- d) metoda Min-Mid-Max,
- e) metoda nejvššího spádu,
- f) metoda Six Sigma.

K vyhledání optimálních výrobních plánů je vhodné použít zejména metodu adaptivního termostatického simulovaného žíhání a metodu náhodného vyhledávání (podrobný popis simulacích algoritmů je uveden v kapitole 1.8).

### 1.3.5 Příklad optimalizace výrobního plánu

Vsádková výrobní linka, na které se vyrábí osm různých produktů, se skládá ze šesti aparátů. Všechny aparáty s výjimkou koncových aparátů mají připojeny výstupní mezioperační zásobníky, ve kterých mohou být dočasné skladovány meziproducty. Tyto mezioperační zásobníky mají kapacitu právě na jednu várku. Za koncovými aparáty jsou umístěny expediční zásobníky s dostatečnou kapacitou pro všechny várky. Každý aparát zpracovává najednou dva meziproducty a produkuje základní meziproduct a dležitý vedlejší meziproduct, který se ještě dále zpracovává. Schéma výrobní linky je znázorněno na obr. 5, vstupní údaje jsou uvedeny v tab. 1.



Obrázek 5 Schéma více produktového vsádkového procesu s mezioperačními zásobníky

Produkt	Operace <sub>1</sub>	Operace <sub>2</sub>	Operace <sub>3</sub>	Operace <sub>4</sub>	Operace <sub>5</sub>	Operace <sub>6</sub>
P <sub>1</sub>	12	22	6	30	33	15
P <sub>2</sub>	6	6	20	15	10	25
P <sub>3</sub>	14	21	15	30	5	10
P <sub>4</sub>	45	25	6	12	35	9
P <sub>5</sub>	30	23	15	21	24	4
P <sub>6</sub>	5	5	20	20	15	9
P <sub>7</sub>	6	16	17	30	23	40
P <sub>8</sub>	15	15	26	13	9	25

Tabulka 1 Operačníasy více produktového vsádkového procesu

Cílem je najít výrobní plán (po adí výroby produkt ) pro více produktový vsádkový proces, který minimalizuje celkovou dobu výroby všech osmi produkt . Optimaliza ní modul není schopen generovat permutace množiny vyráb ěných produkt (pro 8 produkt je po et permutací roven  $8! = 40\,320$ ), pouze jejich variace s opakováním (variací s opakováním je  $8^K = 16\,777\,216$ ). Z tohoto obrovského po tu variací je pouze 40 320 variací p ípustných. P i definici optimaliza ního úkolu je možné definovat omezující podmínky pro p ípustné kombinace optimaliza ních prom nných. Bohužel optimaliza ní modul p ípouští pouze lineární omezení nebo vazby. ísla produkt (vstupní prom nné simula ního modelu *VP.* ) musí být proto p ěpo tena na optimaliza ní prom nné  $CV_i$  podle vztahu 1:

$$CV_i = z^{VP_i-1} \quad VP_i = \log_z CV + 1 \quad (1)$$

Kde je maximální po et várek jednoho produktu ve výrobním plánu zv ěšený o jedni ku. Omezující podmínkou pro identifikaci p ípustných výrobních plán pak lze zformulovat jako lineární vazbu  $\sum_{i=1}^8 CV_i = 255$  (algoritmus 1).

#### Algoritmus 1

```

IF Makespan = 0
    RETURN 1000
ELSE
    RETURN Makespan
ENDIF

```

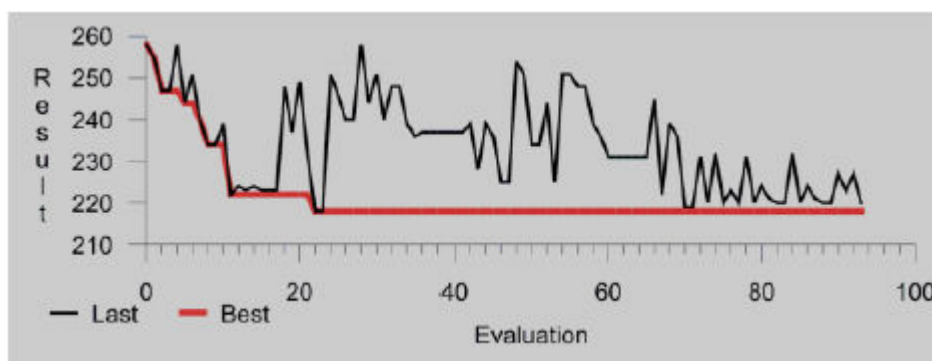
$$1(CV[1-1]) + 1(CV[2-2]) + 1(CV[3-3]) + 1(CV[4-4]) + 1(CV[5-5]) + 1(CV[6-6]) + \\ + 1(CV[7-7]) + 1(CV[8-8]) = 255$$

### 1.3.6 Diskuse výsledk

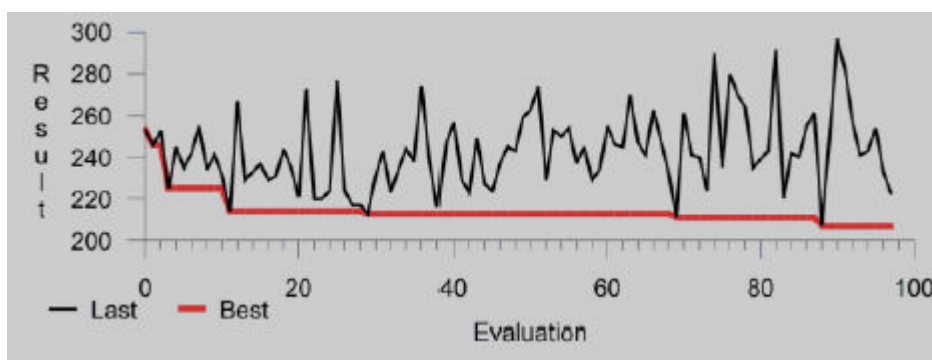
Optimalizace výrobního plánu se provád ěla pomocí dvou diskrétních optimaliza ních metod: náhodného vyhledávání a metody adaptivního termostatického simulovaného žíhání. Pro srovnání výsledk byla použita i metoda úplné enumerace



(výpočty na pracovní stanici s operačním systémem Windows XP s procesorem Intel Pentium 4 o frekvenci 3GHz a s operační pamětí 2 GB trvaly 2:13:43 h). Průběhy prvních 100 iterací pro obě metody jsou zobrazeny na obr. 6 a 7.



Obrázek 6 Průběh prvních 100 iterací pro metodu simulovaného žíhání



Obrázek 7 Průběh prvních 100 iterací pro metodu náhodného vyhledávání

Doba trvání výroby pro optimální výrobní plán je 200 h, byly nalezeny tři různé optimální výrobní plány se stejnou hodnotou účelové funkce:

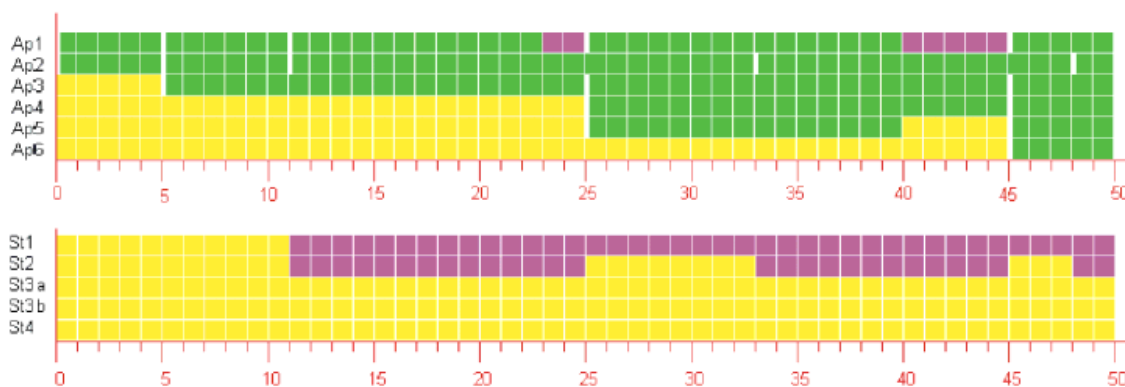
$P_6 \quad P_2 \quad P_1 \quad P_8 \quad P_4 \quad P_7 \quad P_3 \quad P_5$  ;  $P_6 \quad P_2 \quad P_1 \quad P_8 \quad P_7 \quad P_3 \quad P_4 \quad P_5$  a  
 $P_6 \quad P_2 \quad P_1 \quad P_8 \quad P_7 \quad P_4 \quad P_3 \quad P_5$

Postup zlepšování účelové funkce pro obě optimalizační metody je uveden v Tab. 2.

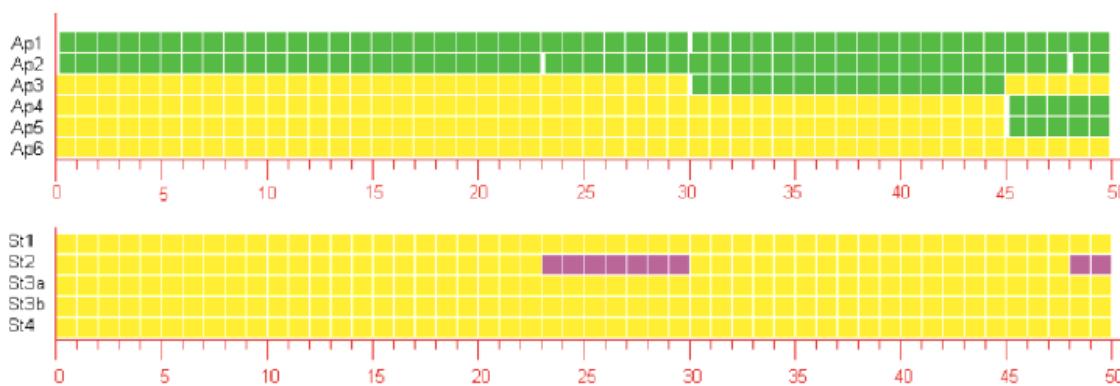
Pořadové číslo plánu	Účelová funkce	Výrobní plán							
		P <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>
0	253	P <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>
1	246	P <sub>1</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>
3	225	P <sub>5</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>6</sub>
11	214	P <sub>6</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub>
29	213	P <sub>7</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>6</sub>
69	211	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
88	207	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>
118	205	P <sub>6</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>
766	203	P <sub>2</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>5</sub>
1 240	201	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>5</sub>
1 306	200	P <sub>6</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>

Tabulka 2 Postup hledání optima pomocí metody náhodného vyhledávání

P i použití metody simulovaného žíhání byl postup k optimálnímu plánu z po átku iterací rychlejší než u metody náhodného vyhledávání, pozd ji se zpomalil a hodnoty ú elové funkce se u obou metod zlepšovaly zhruba stejn rychle. V blízkosti optimálního plánu (z hlediska hodnoty ú elové funkce) se postup výrazně zpomalil a optimální plán byl nalezen až za dvacetinásobek simula ních experiment . U metody simulovaného žíhání bylo p i optimalizaci použito implicitní nastavení parametr . Doba výroby pro nejhorší výrobní plány (bylo jich celkem 16) byla 311 h. Ze srovnání pr b hu výroby podle nejlepšího a nejhoršího výrobního plánu vyplývá, že nejlepší výrobní plán se snaží co nejvíce uvol ovat výrobní aparáty p esunem meziproduct do meziopera ních zásobník a p ednostn vyráb t produkty s kratšími po áte ními operacemi. Pr b h prvních 50 hodin výroby podle obou plán je zobrazen na obr. 8 a obr. 9.



Obrázek 8 Gantt v diagram pr b hu prvních 50 hodin výroby podle nejlepšího plánu



Obrázek 9 Gantt v diagram pr b hu prvních 50 hodin výroby podle nejhoršího plánu

Doby trvání výrobních plánů mají přibližně Gaussovo rozdělení s obecnými nepravidelnostmi a výpadky. Jejich rozdělení není symetrické, klesá od nejvyšších hodnot po plán k optimálním výrobním plánům pomaleji než k nejhorším výrobním plánům. Rozpětí od optimálních výrobních plánů k nejhorším je velké (200 až 311 h), to představuje skoro 56 % vztaheno na optimální výrobní plán. Nalezení výrobního plánu lepšího jen o jednu hodinu představuje zvýšení produktivity výrobní linky pouze organizačními opatřeními bez jakýchkoliv požadavků na investice nebo dodatečné náklady až o 0,5 %.

### 1.3.7 Závěry

V závěru článku autor konstatuje, že vhodnou organizací výroby, podle dobrého výrobního plánu, lze bez dodatečných nákladů výrazně zlepšit ekonomické parametry výrobní linky. Optimální krátkodobý výrobní plán lze nalézt metodami diskrétní optimalizace simulacího modelu více produktového procesu. Je zapotřebí sestavit simulací model, protože matematické modely více produktových vsádkových procesů pro reálné problémy nelze prakticky vytvořit. Všechny výpočty a simulace jsou prováděny automaticky v prostředí simulátoru Witness 2003, pro běh optimalizace je určen optimalizačním modulem Witness Optimizer 4.0. Tento modul obsahuje sadu zabudovaných metod diskrétní optimalizace od jednoduchých metod typu úplné enumerace až po sofistikovanou metodu adaptivního termostatického simulovaného žhání. [2]

## 1.4 Kanban

Pružné systémy řízení výroby jsou základem efektivní výroby, schopné rychle reagovat na reálné požadavky zákazníků. Jedním z řešení, které prezentuje pružný systém řízení výroby, je i systém řízení KANBAN, vyvinutý ve firmě TOYOTA.

Tento systém využívá při řízení produkce princip výroby na výzvu, n kdy také nazývaný jako *tahový systém řízení*. Vyrábí se jen to, co skutečně požaduje zákazník, v množství a vase, ve kterém je výrobek požadován.

U každého systému řízení výroby je nutné se zajímat o to, v čem spoívá výhoda jeho používání. U systému KANBAN je charakteristická ta skutečnost, že jeho implementací se v první etapě dosahují hlavně nepímé přínosy, které ale v konečném důsledku výrazně přispívají k získání přímých přínosů ve výrobě.

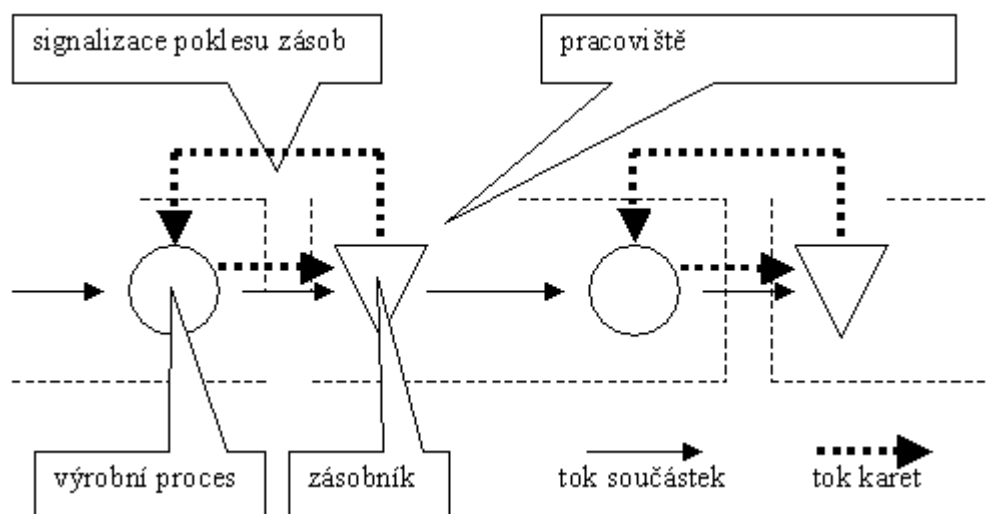
### 1.4.1 Výhody systému řízení kanban

- zavedením systému řízení KANBAN dochází ke snižování velikosti výrobních dávek, čímž je možná pružnější reakce na potřeby zákazníka,
- menší výrobní dávka znamená méně dílů v oběhu, to snižuje požadavky na prostor a snižuje ztráty u nekvalitní výroby,
- nižší požadavky na prostor a nižší ztráty z nekvalitní výroby znamenají úsporu financí,
- systém řízení KANBAN znamená posun od „tlačného“ k „tahovému“ materiálovému toku – vyrábět jen když existuje objednávka,
- systém řízení KANBAN napomáhá k výrobě JIT (Just – in – Time)
- tento systém je jednoduchým vizuálním systémem řízení.

### 1.4.2 Princip činnosti systému kanban

Předpokladem činnosti systému řízení KANBAN je existence okruhu mezi odbratelským a dodavatelským stupněm ve výrobním procesu. Informační – materiálový okruh vytváří objednávka (Kanban karta) dodaná dodavateli a následné vrácení objednávky spolu s materiálem odbrateli. Systém kanban využívá signalizaci

poklesu zásob pod stanovenou hladinu. Tato signalizace je pro předázený výrobní stupe pokynem k výrobě (obr.10).



Obrázek 10 Schéma principu řízení využívaného u klasického systému řízení kanban

### 1.4.3 P íklad zavedení systému kanban

Jako příklad je uvedena implementace systému KANBAN v podniku Autopal Hluk, kde cílem projektu bylo:

- Zpracovat model pro ověření propustnosti navržené výrobní linky pro výrobu chladičů
- Zpracovat návrh řízení na navržené výrobní lince systémem KANBAN
  - stanovení nejvhodnějšího počtu kanbanových okruhů,
  - nalezení optimálního počtu kanbanových karet pro stanovený objem a strukturu výroby,
  - využití modelu pro operativní řízení výroby.

Na základě zadaných vstupních parametrů byl v prostředí softwarového programu Witness 2001 vytvořen simulací model (obr. 11). Tento model zohledňuje všechna specifika, která byla zadána, a v písemné nebo ústní formě.

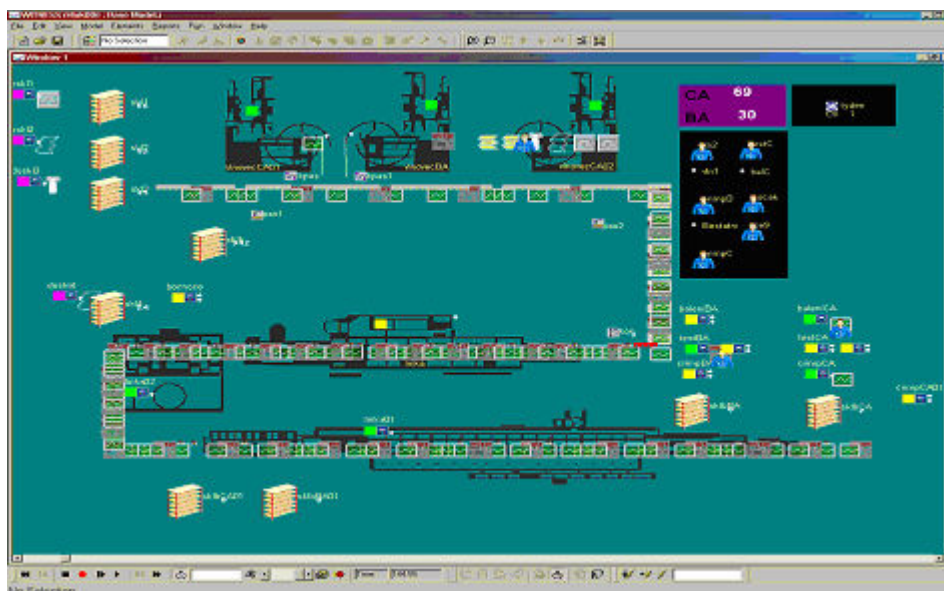
Jsou to především tato specifika:

- maximální produkce pravého stroje na skládání vlnovce (60 ks/hod.),
- obsluha dvou levých strojů na skládání vlnovce jen jedním pracovníkem,
- princip testu trvanlivosti – jeden stroj se dvěma nezávislými pracovišti.

Samotná simulace byla rozložena do dvou základních variant:

1. varianta pro maximální možnou kapacitu výrobní linky,
2. varianta požadované kapacity výrobní linky dle zadaných dat.

Pro obě varianty byl simulován zadaný počet pracovníků sil a optimální počet pracovníků sil vzhledem k zadané produkci.



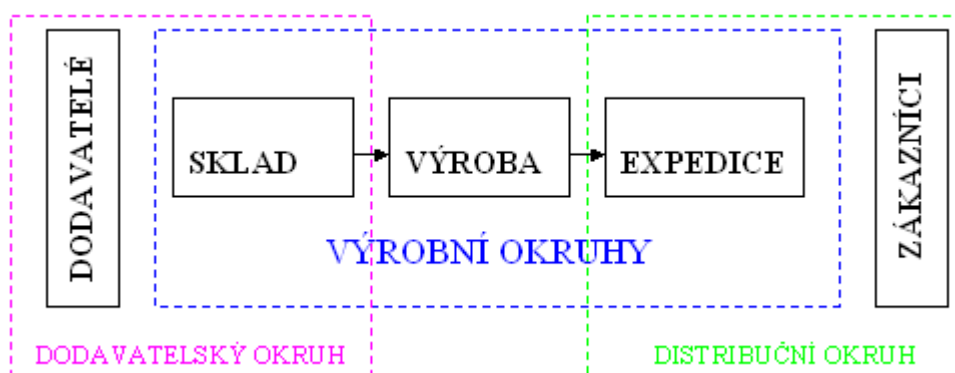
Obrázek 11 Model výrobní linky chladi

Při hodnocení simulovaných variant byly sledovány tyto parametry:

- využití strojů,
- využití pracovníků,
- množství vyrobené při stanovených variantách.

#### 1.4.4 Implementace systému kanban

Cílem uplatnění logistiky v podniku je vzájemné a mezioborové propojení funkcí realizujících zásobování, sekvencované výrobní funkce a odbytí. Ve výrobním systému jehož se implementace systému kanban týká je předpokládána stálost poptávky i škály vyráběných produktů. Pro výrobu v klasickém uspořádání to znamená jednoznačný požadavek na výrobu stálého počtu stejných dílů za časovou jednotku a na daném výrobním zařízení. Výroba jako proces konverze surovin do polotovárů a finálních výrobků je základním procesem podnikového systému. Nicméně z pohledu linky, na které má být systém kanban implementován je nutné zdraznit, že smysluplnost této implementace může být pouze v dokončení zapojení tohoto systému do dodavatelsko-odbytovatelského řetězce pomocí vnějších kanbanů. Tedy okruh, který propojí výrobní linku s dodavateli v zásobovacím okruhu (zahrnujícím sklad) s odběrateli v distribučním okruhu (zahrnujícím expedici) (obr.12).



Obrázek 12 Znáznornění kanbanových okruhů

Jednotlivé kanbanové okruhy při dosažení plné funkce implementovaného systému kanban by měly obsahovat celý proces, včetně okruhů zajišťujících externí napojení linky v dodavatelsko-odbytovatelském řetězci.

V první fázi implementace a to zejména z důvodu očekávané stálosti poptávky po vyráběných dílech, byl systém uveden do praxe pouze v interních okruzích. Vzhledem k významu funkce kanban při spojování jednotlivých fází výroby a míst tzv. mezioperačních zásob je nutno navrhnout pouze takový počet okruhů, které budou smysluplné. To znamená, že navrhujeme následující okruhy, které mohou zaručit řízení

procesu a vyvolat potřebnou objednávku formou vystavení požadavkové karty (kanbanu) a spojit místa s možnou nerovnoměrností.

Do vytvořeného modelu výroby chladičů byl implementován systém řízení KANBAN, který obsahuje následující okruhy:

- Okruh KANBAN hliníkových svitek,
- Okruh KANBAN kryt vlnovce (bojnice),
- Okruh KANBAN víka,
- Okruh KANBAN plastové komory,
- Okruh KANBAN trubek.

Všechny okruhy jsou v modelu řízeny tak, aby nedocházelo k výpadkům dodávek, ani k jiným vlivům s nepříznivým dopadem na celkovou velikost produkce. Model je sestaven tak, aby v případě změny v plánu výroby, změny sortimentu, mohl být operativně pozměněn. Rovněž je připraven tak, aby mohl být doplněn o seřizovací a čistící operace.

Navržený systém řízení výroby kanban je rozdělen do osmi základních okruhů (podle materiálu i produktu) mezi nimiž obíhají kanbanové karty. Pomocí simulace modelu bylo stanoveno optimální obsazení jednotlivých operací pracovními silami a určeny okruhy po nichž se budou pohybovat a byly stanoveny počty kanbanových karet v jednotlivých okruzích a přepravní množství jednotlivých komponent a navrženy nejlepší alternativy z hlediska potřebného skladovacího prostoru. [10]

### ***1.5 Použití dynamické simulace v ŽDB a.s.***

V jednom z tuzemských podniků - ŽDB a.s. Bohumín, je systém WITNESS používán v rámci programu zavádění logistiky. Byly již zpracované simulace projektů se zaměřením na:

- modelování objednacích systémů v zásobování,
- prověření možnosti zvýšení kapacity výrobní linky ve strojírenském oboru,
- porovnání výroby na objednávku s výrobou podle plánu u vybraných výrobků,
- modelování řešení podnikatelského záměru.



Model byl sestaven tak, aby odpovídal navrženému řešení výroby v etn ekonomických údajích a výsledky simulace aby se shodovaly s výsledky nákladových kalkulací a s prodejním plánem dle projektu. Tím byla dosažena verifikace a validace modelu, vlastní simulace experimenty pak umožnily mnohem širší pohled na významy a na relevantní faktory podnikatelského záměru, jako například:

- výrobní náklady,
- výrobní kapacity,
- hrubý zisk,
- potřebná peněžní z

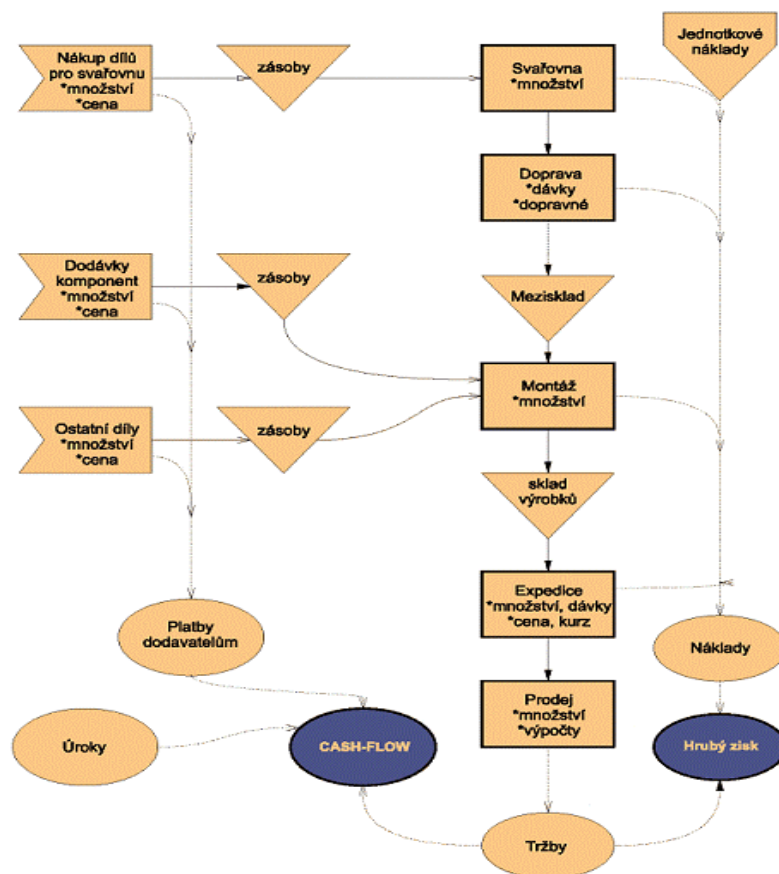
a to vše při souasném simulování různých variant a poruch ve způsobu dodávek, distribuce, platbách, výši úroků, prodejních cen, měnových kurzů a podobně. V daném případě byly na modelu simulovány dvě skupiny událostí, s odlišnými cíli:

1. maximalizace hrubého zisku,
2. minimalizace potřebných peněz.

K tomu účelu byla vytvořena sada simulací a provedeno více experimentů. V následné zprávě se pak uvedly jen výsledky využitelné pro realizaci projektu, které již mohou odpovídat na některé otázky typu: **Co se stane, když..?**

### 1.5.1 Sestavení modelu

Model koresponduje s popisem projektu. Vedle prvků uvedených v projektu (výrobních uzlů, polotovarů a vlastního výrobku) jsou do modelu zavedeny další aktivní i pasivní prvky (například fiktivní mezisklady), které vlastní průběh procesu nijak neovlivní, ale slouží zde pro celkovou funkčnost modelu a pro zajištění žádaných výstupů ekonomických ukazatelů a sledování potřebných peněz. Globální sestavení modelu je zřejmé z následujícího blokového diagramu (obr. 13).



Obrázek 13 Blokový diagram sestavení modelu

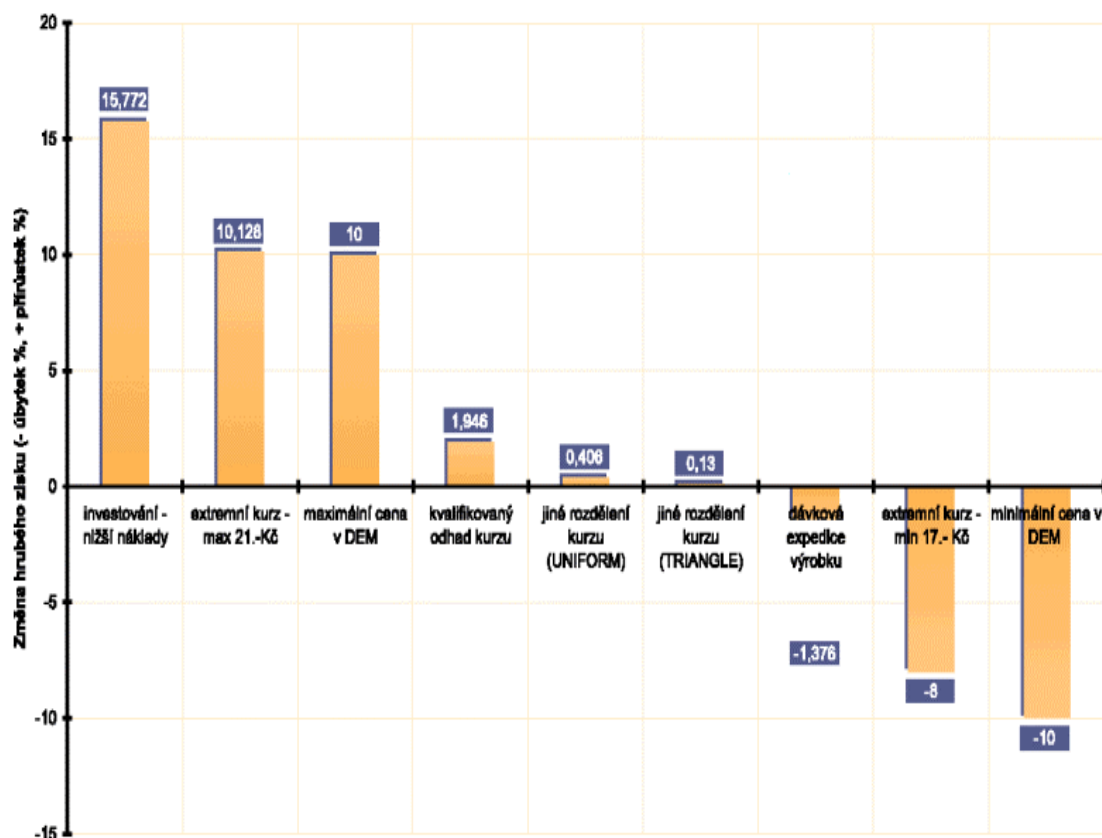
*Sestavení modelu probíhá v těchto základních krocích:*

- Sestavení modelu s "ideální logistikou" (bez nadsázky lze tento model označit jako situace v režimu Just in Time), tj. s pravidelným týdenním cyklem, přičemž základní časovou jednotkou je 1 kalendářní den a týden je rozdělen do 5 pracovních dnů s 1 směnou a dvou dnů nepracovních. Výrobní elementy pracují pouze v pracovních směnách, elementy znázorňující dopravu (příslušný díl, expedice) pracují nepřetržitě. V prvním týdnu simulace dojde k naplnění skladu před montáží do výše operativní zásoby skupin dílů.
- Propracování modelu v ekonomické a finanční části především pro výpočet proměnných znázorňujících celkové náklady, fakturační objemy a různé ekonomické ukazatele. Za tímto účelem byly z projektu použity kalkulace jednotkových nákladů, odhady průběhu vývoje nových kurzů, odhady cen a podobně.

## 1.5.2 Simula ní experimenty

### *Cíl 1: maximalizace hrubého zisku*

Simula ní experimenty byly zam ené na zjišt ní vlivu n kterých faktor podnikatelského zám ru na hrubý zisk (v % z celkových náklad ) a to p edevším ve vazb na cenu výrobku v cizí m n a možný vývoj kurzu. Význam vlivu jednotlivých faktor na hrubý zisk je siln diferencovaný. Vycházíme-li z n kterého výchozího experimentu, pak porovnáním s ostatními experimenty lze zjistit velikost vlivu jednotlivých faktor . Pro porovnání je na následujícím grafu (obr.14) sestupn se azená velikost vlivu jednotlivých faktor jako zm na hrubého zisku v i zvolenému - základnímu experimentu, který odráží pravd podobné rozložení kurz v rámci jednoho roku.



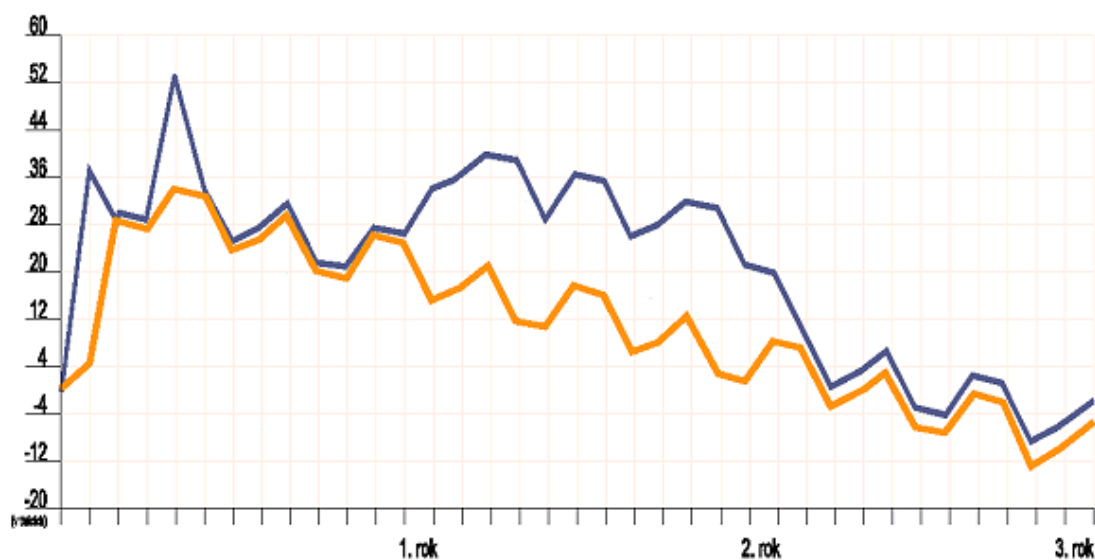
Obrázek 14 Velikost vlivu faktor hrubého zisku

### Cíl 2: minimalizace poteby peněz

Simulační experimenty byly zaměřené především na porovnání průběhu poteby peněz reálných případů s ideálním případem. V každém dalším experimentu byly pak v modelu postupně přidávány reálné situace jako například:

- nerovnoměrný zátek naplnění zásob nakupovanými díly,
- zastavení funkce - porucha na kterého uzlu po určité době,
- nepravidelné platby zákazníka,
- snížení nebo zvýšení výrobních náklad ,
- zvýšení výroby a pod.

Za účelem získání srovnatelných výsledků celková doba simulace byla stanovena na 3 roky. Výsledky dvou zadaných experimentů jsou uvedeny v diagramu - "Provozní úvrať" (obr. 15), z jejichž srovnání lze usuzovat o průběhu poteby peněz. Žlutá křivka odráží potebu peněz při ideálním průběhu, modrá křivka odráží potebu peněz při vzniku reálných poruch. Tyto výsledky lze z programu WITNESS získat i v číselné podobě v tabulkách. Pro hodnocení dopadu poruch na finanční nároky záměru lze do modelu zavést proměnné sledující vztažné veličiny potřebné pro další rozhodování na reálné úrovni.



Obrázek 15 Porovnání vlivu vnějších faktorů na průběh poteby peněz

### 1.5.3 Záv ry

I když v rozhodovacím procesu ŽDB a.s. se metoda dynamické simulace v širším měřítku zatím nepoužívá. Postupně se dostává do podvědomí manažerů a v ojedinělých případech již přinesla konkrétní výsledky. Na základě dosavadního uplatnění programu WITNESS lze však konstatovat, že představuje účinnější nástroj pro modelování podnikových procesů než klasické nástroje - například tabulkové procesory. Jsme přesvědčeni, že zvyšující se náročnost na rozhodovací procesy v souasném turbulentním prostředí si sama vynutí širší využívání popsaného podprného nástroje. [12]

## 1.6 *Optimalizace v t žkém pr myslu*

Metodu dynamické simulace je možné úspěšně použít i v t žkém pr myslu při zakázkové výrobě, jak ukazuje následný příklad projektu zpracovaného pro Vítkovice, a.s. - vytvoření simulačního modelu materiálových toků Kovárny Kunice, analýza využití lisu, nalezení úzkých míst, stanovení propustnosti výrobní linky s ohledem na výrobkovou skladbu a směnnost.

Zpracování projektu probíhalo v následujících etapách:

1. Simulace skutečného průběhu výroby za období od 1.1.2000 do 31.5.2000
2. Stavba modelu pro prověření výroby nasimulovaných zakázek za období od 1.1.2001 do 28.2.2001
3. Rozšíření simulace modelu Kovárny Kunice o zjištění výhod při zprovoznění pece číslo 1

### 1.6.1 Popis modelu

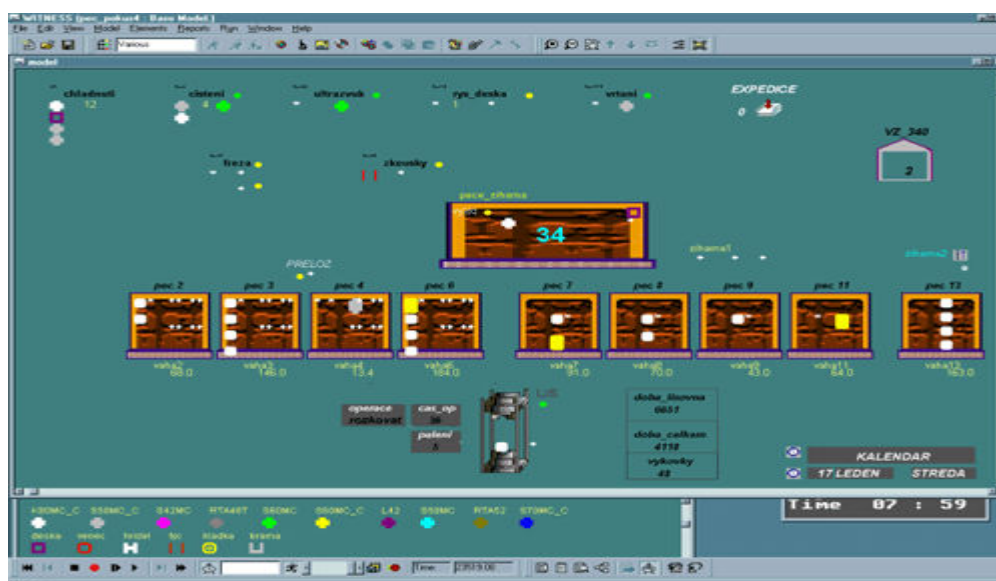
Model byl tvořen ve spolupráci s pracovníky zadavatele, veškeré změny a doplňky byly konzultovány, aby model plně odpovídal realitě. V důsledku těchto skutečností jsme dosáhli v reálného simulačního modelu Kovárny Kunice, tzn. model zahrnuje

zmapování celého materiálového toku výroby. Tento model simuloval skutečnou výrobu za období od 1.1.2000 do 31.5.2000. Data vkládaná do modelu vycházela z výrobních příkazů pro jednotlivé výrobky a z pecních listů. Na základě těchto skutečností došlo k prodloužení termínu zpracování modelu v důsledku toho, že data nebylo možné získat v elektronické podobě. Data byla získávána z různých zdrojů:

- výrobní příkazy, které postihují pouze lisovenskou část (náhuby, jednotlivé operace na lisu, ...)
- pecní listy, ze kterých byla dohledávána doba vstupního náhuby (popř. ukládání do jiných pecí) a průběh tepelného zpracování na žíhárně

Model (obr. 16) se skládá z lisovenské části, kde jsou zobrazeny jednotlivé pece (a to jak výjezdové, tak pevné) a lis. Dále je zde žíhárská část, kde nejsou zobrazeny jednotlivé pece, ale je nasimulována jako celek při zachování všech parametrů teplotního zpracování. V této části modelu jsou zpracovávána pracoviště, na kterých probíhají zkoušky (zde také vycházíme z průměrných časů, které výrobky na pracovištích tráví), pracoviště VŽ 340, kde probíhá pálení, a expedice na těžkou mechaniku.

Jednotlivé výrobky procházejí modelem přesně podle svého výrobního postupu, včetně všech prostojů a poruch.



Obrázek 16 Simulační model

### 1.6.2 Popis simulace

P i simulaci byla používána pec íslo 1 hlavn ě pro vrtulové h ídele, tzn. že po vykování ingotu na osmihran je výrobek uložen místo na žíhárnu do pece íslo 1 a probíhají na n ěm další operace (dokování a hotové kování). Až po dokon ění t ěchto operací odchází výkovek na tepelné zpracování na žíhárnu. P i tomto zpracování výkovku dochází k urychlení výroby vrtulové h ídele. Vzhledem k velikosti t ěchto výrobk ě dochází také k úspo ě asu a kapacity pecí pro ostatní výrobky. Jedním z prvotních argument ě pro používání pece íslo 1, pro vrtulové h ídele, je kvalita zpracování. P i dosavadní výrob ě dochází k nerovnom ěrnému oh ěvu celého výkovku (výkovek se musí nah ěvat na dvakrát z d ěvodu jeho velikosti) a tím vznikají r ězné materiálové vady. Z tabulky . vyplývá, že použitím pece íslo 1 dochází ke zna ěnému urychlení výroby vrtulových h ídelí p i sou asném dosažení lepších kvalitativních parametr ě. Zárove použitím pece íslo 1 dosahujeme zkrácení asu vykování ostatních výrobk ě z d ěvod ě uvoln ění kapacity pecí íslo 8 a 9, kde v sou asné dob ě dochází k nah ěvu vrtulových h ídelí. Dále dochází k úspo ě asu práce lisu, protože p i nah ěvu v peci íslo 1 odpadá operace rozkování st ědu, a ke zkrácení teplotního diagramu T3 (tab. 3).

<b>Použití pece č.1</b>	<b>NE</b>	<b>ANO</b>	<b>Rozdíl</b>
<b>Pece lisovna</b>	32 507	31 648	859
<b>Pece celkem</b>	85 333	82 464	2 869
<b>Využití lisu</b>	60,3%	67,5%	7,2%
<b>Hřídél - průměr</b>	1 240	560	680

Tabulka 3 Diagram T3 (všechny asy uvedené v tabulce jsou v hodinách)

- pece lisovna ... doba, kterou strávily všechny výrobky v pecích na lisovn ě
- pece celkem ... doba, kterou strávily všechny výrobky v pecích na lisovn ě
- i na žíhárn ě

Pec ě.1 je možné používat pro vrtulové h ídele a jako sb ěrnou pec. V tomto p ípad ě je možno využít pec ě.13 jako pomocnou p i zahlcení žíhárny pro vychlazovací režimy. P i použití pece ě.1 se také ukázalo, že je možné jednu až dv ě pece odstavit,

p íp. provád t na jedné až dvou pecích pravidelnou údržbu bez nutnosti zásah do výrobní kapacity.

Simulace byla provedena pro t ísm nný a ty sm nný provoz. Z výsledk simulací vyplynulo, že p i ty sm nném provozu dochází ke zna nému urychlení výroby a snížení asu, který stráví výrobky v pecích. Tento provoz je ale velmi náro ný na personální obsazení všech sm n. Dalším problémem jsou opravárenské sm ny, které jsou nutné pro údržbu strojních za ízení. Proto byl doporu en t ísm nný provoz, kdy opravárenské sm ny mohou probíhat o víkendech a ty sm nný provoz zavád t pouze krátkodob v p ípad nutnosti.

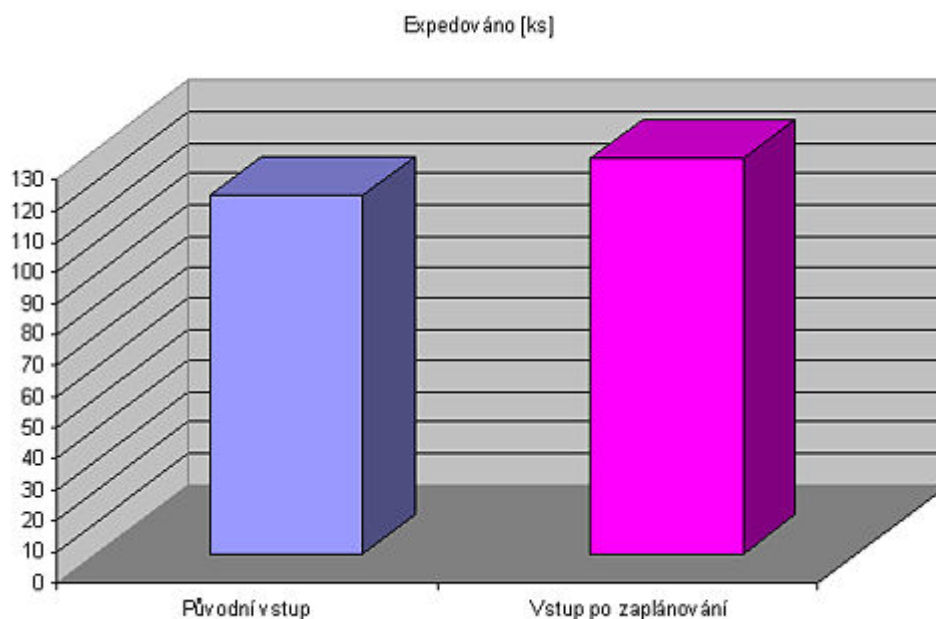
Pro dobré využití kapacity pecí a kapacity lis je nejd ležit jším faktorem plánování p íchodu jednotlivých ingot na lisovnu tak, aby se stejné operace kumulovaly (vzhledem k nutným p estavbám lisu), a docházelo k rovnom rnému a maximálnímu zapl ování výjezdních i pevných pecí. Nap . naplánovat p íchod dvanácti ingot , z nichž budou vyráb ny st ední kusy a epy tak, aby u jednotlivých výrobk nebyl stejný po et operací a nedocházelo k zapln ní výjezdních pecí, p i emž pevné pece budou prázdné. V d sledku našeho návrhu došlo k rovnom rn jšímu zapl ování obou typ pecí (jak výjezdních, tak pevných), ímž se snižuje celková doba, kterou výrobky stráví v pecích.

### 1.6.3 Záv ry

P i stejném po tu hotových výrobk (za období leden a únor 2001) došlo ke zna nému snížení asu, který tyto výrobky strávily v pecích na lisovn . as strávený v pecích celkem vzrostl, z d vodu zvýšení po tu expedovaných kus (obr. 17).

Lze konstatovat, že provedené zm ny v zaplánování vstupujících ingot dokázaly zefektivnit výrobu, snížit as, po který jsou výrobky v pecích na žíhárn , a zvýšily využití lisu. [11]





Obrázek 17 Množství expedovaných kus

## 1.7 Optimalizace po adí pln ní požadavk pomocí Witness optimizeru

### 1.7.1 Popis problému

P i řešení projekt využívajících dynamickou simulaci jsme asto stav ni p ed problém optimalizace po adí pln ní požadavk a kombina ních úloh v bec. A koli každý takový projekt má svá specifika, je spole ným jmenovatelem vždy ohromné množství kombinací (potenciálních řešení), které roste v tšinou s faktoriálem po tu optimalizovaných prvk . Bohužel, ani tak silný nástroj, jakým je Witness Optimizer, není na řešení takových úloh vhodn p ipraven. Nelze do n j totiž zadat hledání optimální konfigurace vektoru  $\mathbf{a}$  o rozm ru  $n$ , vypln něho ísly 1 až  $n$  tak, aby se žádné neopakovalo. Zde je ukázán zp sob, jak je možné p evést úlohu na tvar řešitelný v modulu Optimizer, a problémy, které dosud řešení omezují.

### 1.7.2 Definice modelové úlohy

Předpokládejme jedno výrobní zařízení, na kterém je možné vyrábět různé produkty (např. barviva). Mezi různými produkty je nutno zařízení vyistit. Trvání aktuálního seřízení je závislé na předcházejícím typu produktu a na typu výrobku následujícího. Úkolem je sestavit výrobní program  $n$  požadavků zákazníků, které se mohou lišit navzájem typem a požadovaným množstvím. Položení i takto jednoduché úlohy vyvolá značně komplikovaný problém, pokud ho chceme řešit pomocí software Witness. Např. pro  $n = 10$  dostáváme 3 628 800 různých řešení. Pokud bychom použili úplnou enumeraci a počítač zvládl 1 operaci za sekundu, bude výpočet probíhat 42 dní. Požadavek bývá v praxi daleko více.

### 1.7.3 Postup řešení

1. krok řešení:

Za řešením jednorozměrného problému (převzetí jednorozměrného vektoru  $a$  o velikosti,  $n$  prvky 1 až  $n$  udávající požadavky tak, aby se v něm žádný prvek neopakoval) se musíme vydat do dvojrozměrného prostoru. Vazbu číslo požadavku - požadavky lze vyjádřit pomocí matice  $G$  s prvky  $g_{ij}$ . Prvek  $g_{ij}$  má hodnotu 1, pokud se  $i$ -tý požadavek bude plnit na  $j$ -tém místě, jinak 0. Příklad převodu požadavků, vyjádřeného jednorozměrným vektorem do dvojrozměrného vypadá takto (2):

$$a \Rightarrow G \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 5 \\ 6 \\ 1 \\ 3 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 9 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Pokud by se nám podařilo přimět Witness Optimizer k tomu, aby vyplňoval matici jedničkami a nulami tak, aby vždy součet řádku i sloupce dal číslo 1, měli

bychom vyhráno. Bohužel, takové omezení se zadat nepodaří. Selhává zde také pokus o vyplnění matice „náhodn“, tzn. nevyhovující matice eliminovat vysokou penalizací na účelové funkci a spolehnout se na thermostatickou metodu, že si s problémem poradí. Experimenty prokázaly, že v tomto případě nelze očekávat úspěšné vyřešení úlohy. Jednoduše proto, že náhodných matic je možno vytvořit  $2^{(n \times n)}$ , zatímco vhodných matic je pouze  $n!$ . Pro náš případ deseti požadavků je pravděpodobnost vytvoření vhodné matice Optimizerem pouze (3)

$$p = \frac{n!}{2^{n \times n}} = \frac{10!}{2^{100}} = \frac{3628800}{1267650600228229401496703205376} = \text{prakticky nula} \quad (3)$$

Je jasné, že je nutné Optimizeru s vytvářením matice pomoci, jinak nevytvoří vhodnou matici v rozumném čase, natož aby dosáhl optima.

## 2. krok řešení

Pro pochopení dalšího postupu je zapotřebí si uvědomit, jak by při řešení takovéto úlohy úplnou enumerací postupoval člověk. Zadal by tím, že by postavil matici  $G_0$  (4) tak, že  $g_{ij} = 1$  tehdy, pokud  $i = j$ .

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Pak by systematicky pokračoval tak, že by měl pouze uskupení jedniček ve tvercovém výseku matice, který by se zvětšoval z pravého dolního rohu směrem doleva nahoru (5).

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

až by dospěl k matici  $G_{3628799}$  (6).

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Na tomto myšlenkovém pokusu je vidět jedna pozitivní věc. Je totiž možné postavit za sebou sled matic tak, že mezi sebou logicky souvisí, po adí plní požadavek vyjádření pomocí matic  $G_k$  a  $G_{k+i}$  se liší jen málo. Krom toho se jedná o optimalizaci pouze jediného čísla  $k$ , které se pohybuje mezi 0 a  $n!-1$ .

Poslední pékážka v řešení: Jak převést například číslo 17 na matici  $G_{17}$ ? řešení nabízejí převody mezi číselnými soustavami. Stejně jako lze vyjádřit číslo 17 v číselných soustavách jako (7,8):

$$17 = [17]_{10} = 1 \times 10^1 + 7 \times 10^0 \quad \text{pro desítkovou soustavu} \quad (7)$$

$$17 = [10001]_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^0 \quad \text{pro dvojkovou soustavu} \quad (8)$$

myšleme si zavést „faktoriálovou soustavu“, kde číslo 17 bude vypadat takto (9)

$$17 = [221]_{fact} = 2 \times 3! + 2 \times 2! + 1 \times 1! \quad (9)$$

limit u faktoriálového řádu může být maximálně roven tomuto řádu, jinak je nutno použít vyšší řád. Koeficienty u faktoriálu nám pomohou při stavbě matice (10).

Postup tvorby matice: v našem případě tvoříme matici 10x10. Nejvyšším faktoriálem v matici zobrazeným bude 9! a jeho násobky. Postupujeme od nejvyšších faktoriálu k nižším a zkoumáme, kolikrát je obsažen v čísle. Následující matice ukazuje umístění jedničky pro násobky 9!.

$$G = \begin{bmatrix} 0x & 1x & 2x & 3x & 4x & 5x & 6x & 7x & 8x & 9x \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (10)$$

V případě čísla 17 je 9! obsažen 0x a jednička bude v  $G_{1,1}$ . Následuje zmenšení umístovacího prostoru pro další jedničku o řádek a sloupec, kam byla jednička umístěna v tomto kroku. V takto zmenšeném prostoru pokračujeme s 8! a tak dále až k 3!. Nyní manévrovací prostor pro umístění jedničky vypadá takto (11):

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (11)$$

3! je obsažen 2x (koeficient u faktorialového rozvoje je roven 2), jednička bude umístěna do  $G_{7,9}$ , a opět se prostor zmenší (12).

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . \end{bmatrix} \quad (12)$$

Poslední 3 kroky budou vypadat následovně (13):

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow G_{17} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

3. krok řešení:

Nyní již nic nebrání optimalizaci:

- 1) Optimizer vybere číslo  $k$  mezi 0 a  $10! - 1$ .
- 2) číslo se v inicializačních akcích modelu převede na matici  $G_k$
- 3) Na základě matice jsou nasazovány požadavky k plnění

### 1.7.4 Výhody řešení

- Snadná realizace
- Optimalizuje se pouze jediné číslo
- Hodnota úlohové funkce má z velké části logickou návaznost na optimalizované číslo (díky principu tvorby matic, matice  $G_k$  a  $G_{k+i}$  spolu velmi úzce souvisí)

### 1.7.5 Slabá místa řešení

Nelze optimalizovat tímto postupem více než cca 20 požadavků. Narazíme totiž na strop tvořený maximálním číslem, které Witness umí pochopit. Witness umožní užití celého čísla v rozmezí  $-2\,147\,483\,647$  až  $+2\,147\,483\,647$  (mezi  $12!$  a  $13!$ ), do optimizeru se však podaří zadat číslo v řádce díky definici používaného čísla jako reál. V každém případě má tento postup pouze omezené možnosti, v reálu bývá optimalizovaných požadavků daleko více než 20.

Pro logickou návaznost matic je nutno provést dostatečný počet optimalizačních kroků. [4]

## 1.8 Optimalizační algoritmy

Evoluční algoritmy v současnosti patří mezi základní nástroje moderní informatiky v případech hledání řešení v extrémně složitých situacích, kdy použití standardních deterministických metod založených na technikách úplného prohledávání je neaplikovatelné (jako bychom hráli šachy tak, že nejprve sestrojíme všechny možné tahy až do konce hry a z toho vybereme ten tah, který nejrychleji vede k výhře). Ukazuje se, že evoluční metafora je velice efektivním přístupem na řešení těchto složitých problémů, zejména v případech, kdy není zapotřebí optimálního řešení problému, ale dostačující je i kvalitní suboptimální řešení. Základní vlastnosti těchto algoritmů je možno shrnout následujícím způsobem [1]:

1. Evoluční algoritmy patří mezi základní prostředky moderní numerické matematiky pro hledání řešení složitých optimalizačních problémů. Používají se v případě, že hledáme takové globální minimum, které je obklopeno množstvím lokálních minim. Adaptováním a modifikováním všeobecné představy o Darwinově evoluční teorii vznikla univerzální numerická optimalizační metoda.
2. Evoluční algoritmy mohou být ve všeobecnosti chápány jako abstrakce a formalizace Darwinovy evoluční teorie. Evoluční algoritmy poskytují univerzální algoritmus pro simulaci evoluce, ve kterém je zapotřebí modifikovat pouze způsob určení síly chromozomu pomocí odpovídajícího genetického symbolu.

### 1.8.1 Horolezecké algoritmy

Do skupiny horolezeckých algoritmů je možné zařadit dva základní typy: stochastických optimalizačních algoritmů, které navzdory tomu, že neobsahují evoluční rysy, slouží jako základ pro formulaci evolučních optimalizačních algoritmů.

- Slepý algoritmus
- Horolezecký algoritmus – Hill climb

### 1.8.2 Slepý algoritmus

Slepý algoritmus je základní stochastický algoritmus, který opakovaně generuje náhodná řešení z oblasti  $D$  a pamatuje si je pouze tehdy, když toto bylo lepší než to, které již bylo zaznamenáno v předchozí historii algoritmu. Z důvodu kompatibility tohoto algoritmu s evolučními algoritmy je uvedena jeho implementace pro binární reprezentaci vektorů (Algoritmus 2.) [1]:

procedure Blind\_Algoritmus (input:  $t_{\max}$ ,  $k$ ,  $n$ ; output:  $f_{\min}$ ,  $f_{\text{fin}}$ );

```
begin  $f_{\min} := \infty$ ;  $t := 0$ ;
  while  $t < t_{\max}$  do
    begin  $t := t + 1$ ;
       $x :=$  randomly generated binary vector of the length  $kn$ ;
      if  $f(x) < f_{\min}$  then
        begin  $f_{\min} := f(x)$ ;  $f_{\text{fin}} := f(x)$ 
```



end;

end;

end;

Algoritmus 2. Pseudopascalovská implementace slepého algoritmu. Vstupní parametry procedury jsou  $t_{max}$  (maximální počet iterací) a konstanty  $k$  a  $n$  (délka binárního vektoru zce jednotlivé proměnné resp. počet proměnných optimalizované funkce  $f$ ). Algoritmus začíná inicializací proměnné  $f_{fin}$  (výsledná hodnota optimalizované funkce  $f$ ) a  $t$  (počet iterací). Algoritmus se opakuje  $t_{max}$  - krát, pak je ukončen a výstupní parametry  $f_{fin}$  a  $f_{fin}$  obsahují nejlepší hodnoty řešení v binární reprezentaci a příslušnou nejlepší funkční hodnotu.

### 1.8.3 Horolezecký algoritmus – Hill climb

Jednoduchým zobecněním slepého algoritmu je možné získat horolezecký algoritmus – (hill climb), kde se iterace hledá nejlepší lokální řešení v určitém okolí a toto řešení je v dalším kroku použito jako „start“ nové oblasti. K formalizaci horolezeckého algoritmu jsou dále zavedeny základní pojmy důležité pro jeho jednoduchý popis. Operace mutace stochasticky transformuje binární vektor na nový binární vektor  $\alpha'$ , při němž stochastickost tohoto procesu je určena pravděpodobností:

$$P_{mut}: \alpha' = O_{mut}(\alpha) \quad (14)$$

kde  $\alpha$  a  $\alpha'$  jsou dva binární vektory (15) stejné délky  $kn$ :

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{kn}) \quad \text{a} \quad \alpha' = (\alpha'_1, \alpha'_{21}, \dots, \alpha'_{kn}) \quad (15)$$

kde jednotlivé komponenty  $\alpha'$  jsou určeny takto (16):

$$\alpha'_i = 1 - \alpha_i \quad \alpha'_i = \alpha_i \quad (\text{pro } \text{random} < P_{mut}), \quad (16)$$

(ostatní případy)

kde  $\text{random}$  je náhodné číslo z intervalu  $[0, 1]$  generované s rovnoměrnou distribucí. Pravděpodobnost  $P_{mut}$  určuje stochastickost operátora mutace, v limitním případě, když  $P_{mut} \rightarrow 0$ , pak operátor  $O_{mut}$  nemění binární vektor (17):

$$\lim_{P_{mut} \rightarrow 0} O_{mut}(\alpha) = \alpha \quad (17)$$

Základní idea horolezeckého algoritmu spoívá v tom, že vzhledem k ur itému zvolenému ešení se náhodn zm ní bitové prom nné (zvolené ešení je st edem oblasti z n j náhodn generovaných ešení). Z této oblasti se vybere nejlepší ešení (tj. s minimální funk ní hodnotou nad body z daného okolí), které se použije v následujícím itera ním kroku jako st ed nové oblasti. Tento proces se opakuje p edepsaný po et-krát, p i emž se zaznamenává nejlepší ešení, které se vyskytlo v pr b hu historie algoritmu. (Možná modifikace tohoto algoritmu spoívá v prohledávání všech ešení, které se liší v jednom bitu od aktuálního ešení.)

Okolí  $U(a)$  binárního vektoru  $a$  se sestojí pomocí vektor  $a' = O_{mut}(a)$  (18):

$$U(a) = \{a' = O_{mut}(a)\} \quad (18)$$

p i emž se p edpokládá, že kardinalita (po et element ) je rovno p edepsané hodnot ,  $|U(a)| = c_0$ , kde  $c_0$  je dané kladné celé íslo. V d sledku stochasti nosti aplikace operace mutace na daný binární vektor  $a$  má složení okolí  $U(a)$  také stochastický charakter. To, jestli n jaký vektor  $a'$  pat í i nepat í do okolí  $U(a)$  je ur eno pouze pravd podobnostn a ne deterministicky. Nejlepší ešení v okolí  $U(a)$  je ur eno (19):

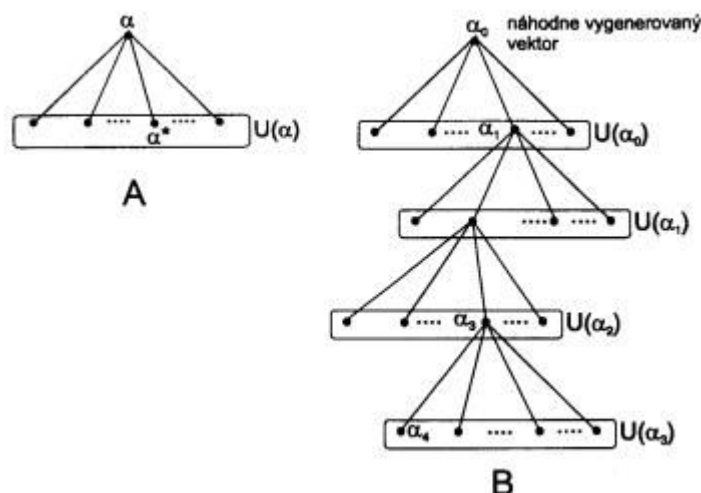
$$a^* = \arg \min_{a' \in U(a)} f(\Gamma(a')) \quad (19)$$

V horolezeckém algoritmu se získané ešení  $a^*$  použije jako „st ed“ v dalším itera ním kroku algoritmu. (obr. 18)

Horolezecký algoritmus, podobn jako algoritmus slepý, je schopen najít globální minimum. Avšak v tomto p ípad se musí kardinalita okolí  $c_0 = |U(a)|$  asymptoticky zv tšovat do nekone na (20):

$$\lim_{c_0 \rightarrow \infty} P(c_0 | a_{gen} = a_{opt}) = 1 \quad (20)$$

pak je zbyte né opakovat itera ní kroky horolezeckého algoritmu pro nové lokální optimální ešení, protože už v rámci jednoho itera ního kroku se obdrží pro  $c_0$  globální ešení. Horolezecký algoritmus, i když neobsahuje explicitní evolu ní strategii, je pom rn efektivní a robustní stochastický optimaliza ní algoritmus, který je schopen najít globální minimum pro jednodušší úkoly. [9]



Obrázek 18 Schematické znázornění generování okolí binárního vektoru a nejlepšího řešení  $\alpha^*$  (A) v okolí  $U(\alpha)$ , (B) – horolezecký algoritmus.

Více informací o evolučních algoritmech lze nalézt v odborné literatuře, například [6].

### 1.9 Witness optimizer 4.1

Tvorba simulního modelu, jeho validace, experimentování a optimalizace procesu jsou nejdležitější etapy simulního projektu, od kterých do velké míry závisí výsledek celého projektu. Je třeba si uvědomit, že experimentování se simulním modelem představuje časově náročnou činnost, která je omezena rozsahem nutných pokusů, nastajících nejen s potními vstupními proměnnými optimalizace a jejich možnými úrovní, ale i z důvodu nutnosti replikací, které jsou zárukou statisticky zdůvodnitelných výsledků.

Simulní program Witness 2004 používá k optimalizaci zásuvní modul Optimizer 4.1. Má integrováno šest algoritmů pro optimalizaci a poskytuje i alternativní možnost rozšíření o vlastní naprogramování algoritmu například jazyce Visual Basic for ApplicationR.

### 1.9.1 Stručná charakteristika jednotlivých algoritmů :

#### *Adaptive Thermostatistical SA (Simulated Annealing)*

Základem algoritmu Simulated Annealing je využití podobnosti optimalizační úlohy s procesem žháním tuhého tělesa. Při žhání nejprve těleso ohřejeme na dostatečně vysokou teplotu a poté provádíme ochlazování za účelem dosažení rovnovážné struktury materiálu. Dosažením rovnovážné struktury chápeme v optimalizačním jazyce jako nalezení globálního maxima, či minima účelové funkce. V modulu optimizer je základní algoritmus Simulated Annealing rozšířen o modifikaci kombinující algoritmus s technikou algoritmu Tabu Search.

#### *Six Sigma*

Metoda Six Sigma je založená na systematickém snižování či zužování odchylek tak dlouho, dokud se mezi průměrnou hodnotou a stanovenou mezí (požadovanou hodnotou) nevtáhnou šest standardních odchylek.

#### *All Combinations*

Tato metoda určí všechny možné kombinace, jednu za druhou. Toto zaručuje, že bude nalezeno optimální řešení. Použití této metody je náročné na čas a dobu trvání optimalizace, zejména ovlivňuje počet kombinací a výkon použitého počítače.

#### *Random Solutions*

Podle zvoleného nastavení jsou náhodně vybírané kombinace pro optimalizaci.

#### *Min/Mid/Max*

Tato metoda spouští všechny kombinace z minimálního středního a maximálního rozsahu zvolených parametrů.

### ***Hill Limb***

Algoritmus Hill Climb představuje jakýsi mezistupe mezi náhodným prohledáváním stavového prostoru a použitím různých evolučních heuristik obsažených například v genetických algoritmech. [14]

## **1.10 Výběr vhodného optimalizačního algoritmu**

Auto i textu se zabývají porovnáním algoritmů využívaných modulem Optimizer: Hill Climb a Simulated Annealing. V závěru je pak zmíněna možnost využití OLE automation pro optimalizaci externími algoritmy.

### **1.10.1 Testování**

Pro testování schopnosti optimalizačních algoritmů Simulated Annealing a Hill Climb byl vybrán simulační model, ve kterém bylo snahou maximalizovat průtok výrobků A, B a C systémem. Účelová funkce (21) diferencuje expedovaná množství jednotlivých výrobků na základě zisku z prodeje. Jedná se o relativní vyjádření zisku v závislosti na změně vstupních proměnných optimalizace. Sestavení účelové funkce předcházela následná analýza problému.

$$Rz = \left( \sum_{i=1}^3 E_i \cdot Z_i \right) - N_v - N_p \quad (21)$$

$E_i$  - počet expedovaných kusů i-tého výrobku,

$Rz$  - relativní zisk (hodnota účelové funkce),

$Z_i$  - zisk z prodeje i-tého výrobku po odečtení materiálových nákladů,

$N_v$  - vícenáklady spojené s rozšířením výrobních kapacit,

$N_p$  - personální vícenáklady.

### **1.10.2 Účelová funkce**

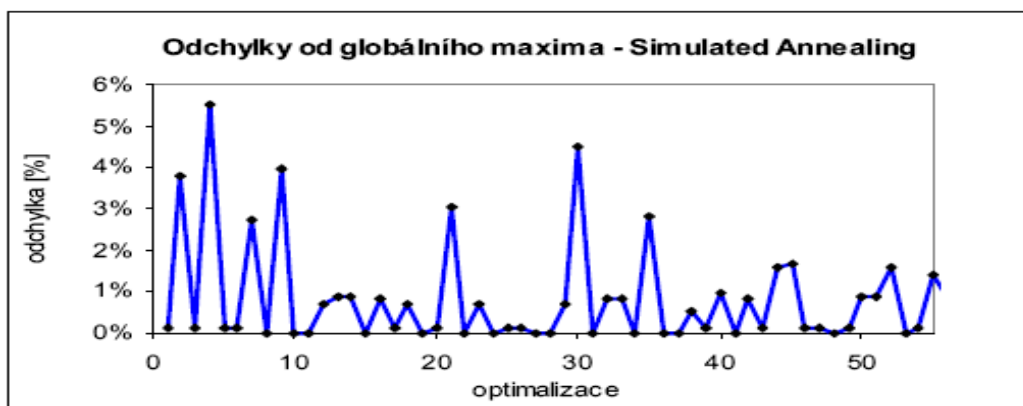
Volba účelové funkce zásadním způsobem ovlivňuje výstupy z experimentů provedených při optimalizaci simulovaného modelu. Jeden z případů možného sestavení účelové funkce je uveden ve vzorci (21). Ve většině případů by však ve výrobních podnicích rádi používali funkci hodnotící proces nejen z kvantitativních hledisek, ale

také z hledisek kvalitativních. Tyto kvalitativní hlediska lze v úlohových funkcích zohlednit pouze pokud kvalitativní znaky výrobků převedeme pomocí dalších podporných ukazatelů na kvantifikovatelné znaky. Například kvalitu, lze relativně snadno kvantifikovat pomocí vrácených výrobků převedených na finanční ztráty. V této funkci je nejdležitější převést veškeré složky na stejné jednotky a pomocí různých, předem daných, koeficientů zajistit jejich vzájemnou míru ovlivňování.

### 1.10.3 Zhodnocení

Ve Witnessu<sup>R</sup> je díky jednoduchému zadávání funkcí podle nichž se jednotlivé experimenty vyhodnocují relativně snadné. Díky uživatelsky přívětivému prostředí je možné navrhovat různé úlohové funkce a v reálném čase vyhodnocovat správnost jejich návrhu.

Algoritmus Simulated Annealing našel globální maximum úlohové funkce v cca 27% optimalizací, zatímco algoritmus Hill Climb pouze v 8%. V případě algoritmu Hill Climb často docházelo k zacyklení a následné stagnaci vývoje optimalizace. Výsledky jsou nejlépe patrné z obr.19 a obr.20, které znázorňují poměrné vzdálenosti nalezených variant vzhledem k optimální variantě.



Obrázek 19 Stabilita výsledků algoritmu SA.

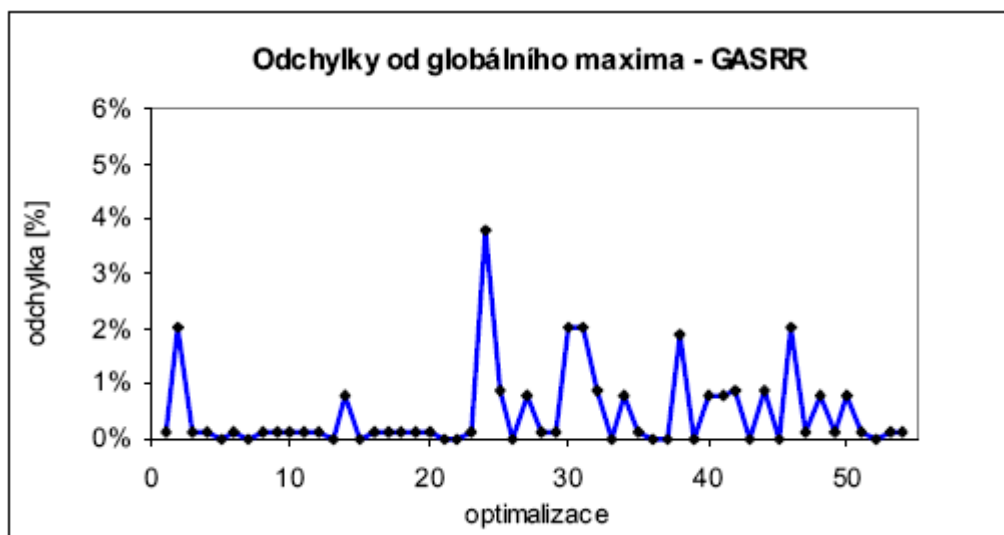


Obrázek 20 Stabilita výsledk algoritmu HC

#### 1.10.4 Použití alternativních algoritmů

Přestože modul Optimizer<sup>R</sup> obsahuje širokou škálu optimalizačních nástrojů. Proto lze k optimalizaci přistoupit i alternativním způsobem s výhodou můžeme využít otevřenosti systému Witness<sup>R</sup> a optimalizační algoritmus naprogramovat například v jazyce Visual Basic for Application<sup>R</sup>. Excelovské makro pak tvoří jádro optimalizace a pomocí OLE automation získáváme hodnoty úlohové funkce na základě simulací ve Witnessu.

Optimalizační algoritmus GASRR (Genetický algoritmus s reálnou reprezentací) vychází z klasického genetického algoritmu (GA) od kterého se liší především kódováním proměnných. Zatímco převážná většina aplikací GA používá ke kódování vstupních proměnných binární kódování, zde je použito méně obvyklého způsobu používajícího přímo reálnou hodnotu vstupní proměnné. Provedené experimenty ukazují, že výsledky získané použitím algoritmu GASRR jsou přibližně srovnatelné s výsledky algoritmu Simulated Annealing. Pro možnost názorného porovnání s algoritmy Optimizeru<sup>R</sup> nejlépe poslouží obr. 21 znázorňující poměrné vzdálenosti nalezených variant vzhledem k optimální variantě.



Obrázek 21 Stabilita výsledk algoritmu GASRR

### 1.10.5 Záv ry

Systém Witness sice nabízí několik algoritmů pro optimalizaci simulovaných modelů, ale rozhodně není uživatelsky uzavřený a umožňuje využití algoritmů, které si uživatelé sami vytvoří. Zde si každý z uživatelů musí rozhodnout, zda si přímo koupí optimalizační modul Optimizer i zda investuje své prostředky a čas do vývoje vlastního algoritmu. Je zřejmé, že genetický algoritmus nám dává jistou alternativu ke standardně dodávaným algoritmům modulu Optimizer<sup>R</sup> (Simulated Annealing, Hill Climb, atd.). Zde již jen zbývá zvážit, zda by nebylo vhodné tento algoritmus přidat mezi standardní algoritmy používající modul Optimizer<sup>R</sup> jako další možnost pro ostatní uživatele. [7]



## 2 Praktická část

V této části je nastíněn řešený problém, popis sestaveného modelu, optimalizace zvolených parametrů a zhodnocení optimalizace.

### 2.1 Nastínění řešené problematiky

SBU Commercial Vehicles (užitkové vozy) se v současné době v rámci snižování nákladů pokouší o snížení rozpracovanosti výroby na minimum. Vzhledem ke značné variabilitě výroby a omezeným zkušenostem řídících pracovníků v oblasti logistiky, nebylo doposud dosaženo uspokojivého množství rozpracovaných výrobků. Tento stav má neblahý vliv, jak na flexibilitu výroby, tak značně zvyšuje nároky na skladovací prostory a nadměrně zatěžuje finanční rozpočet SBU.

Zkušenosti řídících pracovníků pramení z doby, kdy se vyráběly několika tisícové série jednotlivých druhů tlumičů. V současné době, zákazníci firmy přecházejí na řízení výroby JIT (Just-In-Time - výroba právě včas, kdy je to potřebné. Tento druh řízení výroby je logisticky náročný, ale mimo jiné se jím docílí minimálního množství mezioperačních zásob ve výrobě.) To je taky jeden z důvodů, proč se vyrábí více druhů výrobků v menších sériích (řádově stovky až tisíce). Právě tenhle fakt nutí vedení firmy zabývat se řešením problému rozpracovanosti výroby. Řešení v provozu, kde výroba jednotlivých dílů finálního výrobku je časově značně odlišná, je ale komplikovaná. *Ve kterém okamžiku spouštět výrobu na jednotlivých výrobních úsecích tak, aby finální montáž probíhala plynule a výrobek byl vyexpedován včas?*

Dalším důvodem, proč mohou vznikat nežádoucí zásoby je poruchovost provozu (vznik zmetků). Vzhledem k tomu, že je těžké (asi nemožné) určit přesnou zmetkovitost, vyrábí se v každém úseku výroby „několik“ kusů navíc. Což v lepším případě znamená oproti „několik“ kusů nad plán, v horším případě vyrobený polotovár, který se odveze kam do skladu. Když vezmeme v úvahu, že selže lidský faktor (zatím si nikdo nevzpomene, že se někde něco vyrobilo navíc), oproti to znamená zvýšené nároky na skladovací prostory (skladují se peníze které nevydělávají).

Ani dlouhodobé zkušenosti ve výrobě a vedení výrobní statistiky nedokáží úplně a spolehlivě nastavit parametry výroby tak, aby výroba byla plynulá a nevznikali

necht né zásoby. Ty zt žují jak práci ídících pracovník (kam to uklidit?, co na to ekne vedení?), tak práci d lník (to jsem zv davý co budu d lat až...)

Jedním z ú inných ešení je používání simula ního softwaru, který p i správném použití m že pomoci efektivn ídit procesy ve výrob . D ležit je co možná nejlíp poznat možnosti softwaru (praktické zkušenosti) a co možná nejp esn ji ur it sledované parametry pro simulaci. Tím se p edejde zklamání ze simulace p ípadn prezentování výsledku, které pro ízení výroby nemají klí ový význam.

## 2.2 Vytvo ení modelu

Na základ konzultací, plánu podlaží a toku materiálu byl vytvo en simula ní model. Model simuluje výrobu dvou druh tlumi v po tu celkem 2200 kus . Postupn jsou spoušt ny t i série výrobk v po tech 1000, 1000 a 200 kus . P i poslední sérii dochází ke zm n pracovních as jednotlivých stroj .

Bohužel se v tší po et kombinací jednotlivých druh tlumi ukázal jako asov velice náro ný a tudíž v rámci diplomové práce nerealizovatelný. P vodní zám r byl nasimulovat alespo šest po sob jdoucích sérií a pozorovat, jak si optimizer programu Witness poradí s optimalizací výrobního procesu v sledovaném asovém horizontu. P i aktuálním nastavení modelu na 2200 kus trvá simulace v závislosti na výkonu počíta e cca. 25 minut (p i zapnutém zobrazování) a cca. 3 minuty (p i vypnutém zobrazování). V reálním ase to znamená p ibližn 66 odpracovaných hodin.

## 2.3 Verifikace modelu

Verifikace modelu byla provád ná za pomoci optimizeru (Random Solutions) a to tak, že podle extrémní hodnoty ú elové funkce byl model opakovan nastavován na hodnoty optimaliza ních prom nných. Následn byl model spušt n se zobrazováním a byla sledována správnost jeho chování. V p ípad , že došlo v b hu programu k chyb , byla chyba analyzovaná a odstran na.

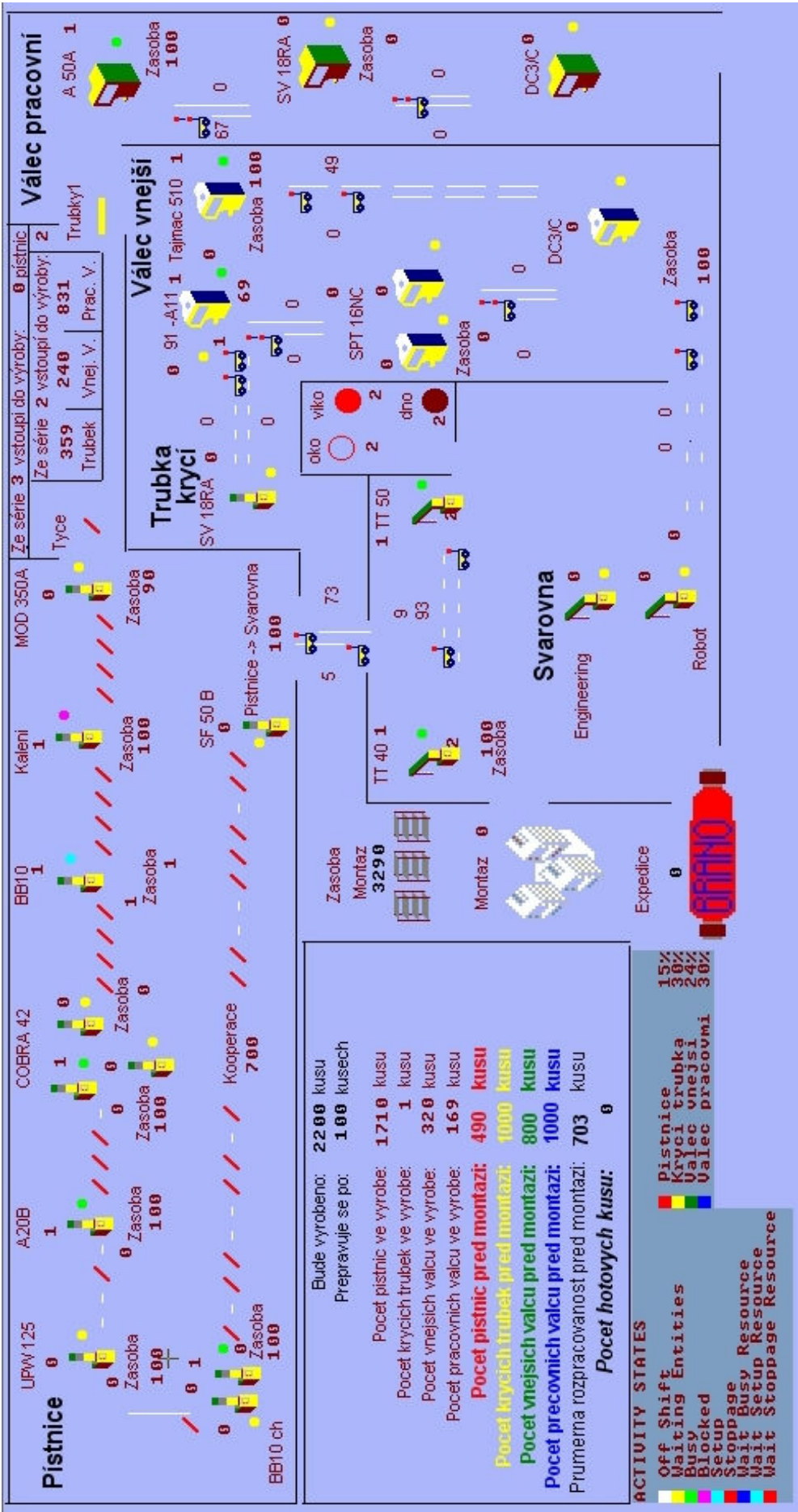
## **2.4 Popis modelu**

Model byl vytvořen do hlavního okna Layout Window (obr.22) a dalších čtyřech pomocných oken, které doplňují potřebné informace, týkající se simulace.

Předtím než se tlumič smontuje v úseku montáže na finální výrobek, je nutné vyrobit několik samostatných dílů. Konkrétně :

- Pístnice
- Pracovní válec
- Vnější válec
- Krycí trubku

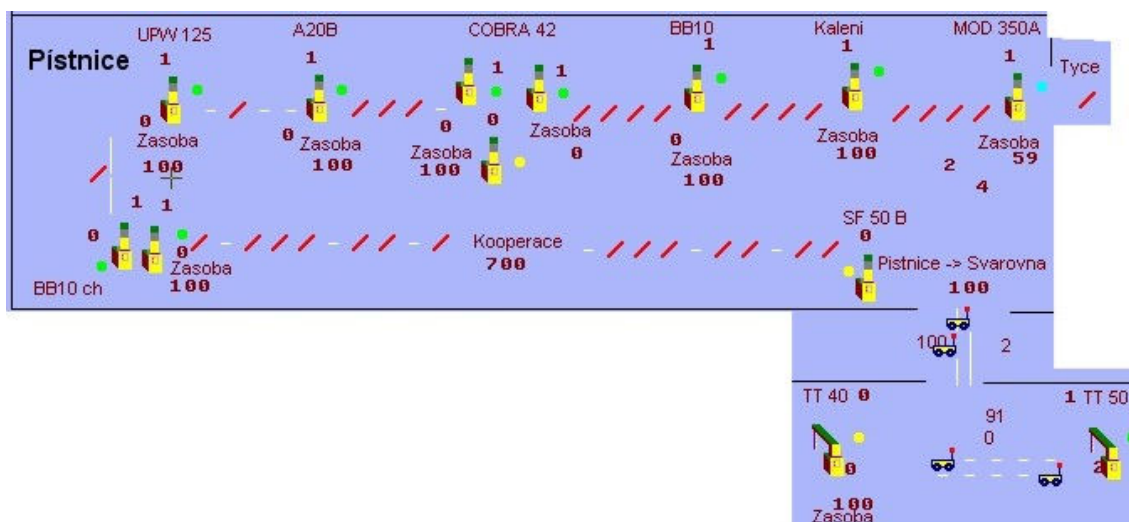
V následujících kapitolách je podrobnější popis jednotlivých částí.



Obrázek 22 Hlavní okno modelu

### 2.4.1 Pístnice

Ze skladu jsou odebírány tyče, ze kterých se v procesu výroby stávají pístnice (obr.23). Hotové pístnice se hromadí v skladu před montáží. Protože tenhle úsek výroby je asově nejnáročnější hlavní kválí kooperaci, kterou vykonává externí firma, je zde výroba spouštěná soustavně spuštěním modelu.



Obrázek 23 Výrobní úsek pístnic

Výroba je zahájena záním tyčí na délku strojem MOD 350A a postupně pokračuje kalením, broušením průměru (BB10), soustružením (Cobra 42, A20B), válcováním závitu (UPW12,5), broušením pod chrom (BB10). Dále následuje zmiňovaná kooperace, kde dochází ke chromování tyčí. Lze říct, že v kooperaci je jednodenní produkce (600 – 700 kusů), což umožňuje simulovat kooperaci jako zásobník, ze kterého je možné odebírat díly, až v okamžiku kdy dosáhne určeného množství (standardně 700 kusů). Výroba pokračuje superfinschom (SF 50 B), pak stroj TT 40 navaří k pístnici oko a TT 50 navaří víko. Zhotovené pístnice putují do zásoby před montáží.

Každý stroj nejdříve vyrobí „kritickou“ zásobu 100 kusů, poté posílá výrobky pomocí dopravníkového pásu na další zpracování.

Seizování stroj je řešeno dvěma způsoby:

- V situaci kdy do stroje vstoupí jiný druh výrobku, stroj za něj se nezastaví. Soustavně se za něj spotřebovávají kritická zásoba stroje.

- V případě, že kritická zásoba výrobků, kterého výroba končí klesne u předchozího stroje na nulu, stroj začne se izovat.

## 2.4.2 Pracovní válec

Ze skladu jsou odebírané trubky a postupně zpracovávány na strojích A 50A, SV 18RA a DC3/C (obr. 24). Pracovní válec je následně přesunut do zásoby před montáží. Přeprava mezi stroji je realizována pomocí dopravních vozíků s kapacitou 100 kusů. Seizování je obdobné jako v úseku pístnic.

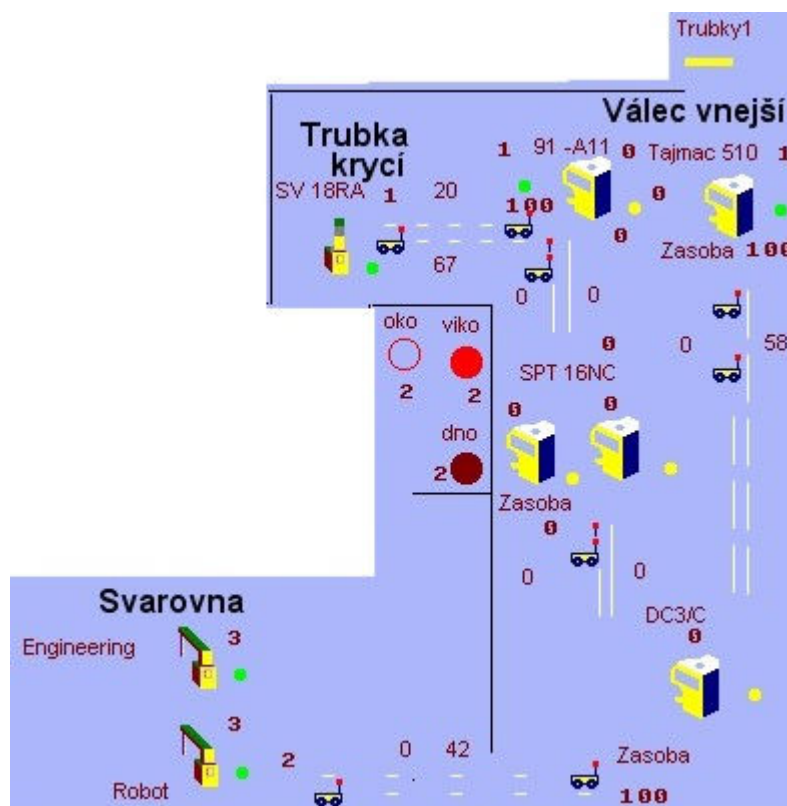


Obrázek 24 Výroba pracovního válce

## 2.4.3 Vnější válec a krycí trubka

V této části stroje Tajmac 510, DC3/C, Robot, Engineering postupně vyrábí vnější válec. Stroje 91-A11 a SV 18RA vyrábí krycí trubku. V případě, kdy rozdíl počtu krycích trubek a vnějších válců v zásobě před montáží přesáhne 200 kusů stroj 91-A11 se seřadí a podle potřeby diferencuje vzniklý rozdíl, minimálně však 100 kusů. V případě, že stroj 91-A11 vyrábí vnější válec, jsou do procesu zapojené ještě dva stroje SV 18RA, které dále posílají rozpracované díly stroji DC3/C (obr. 25). V části výroby

označené jako svařovna dochází na strojích Robot a Engineering k navazení na polotovary oka a dna. Seizování je řešeno obdobně jak v ostatních částech výroby. Přeprava dílů je realizována pomocí vozíků.



Obrázek 25 Výroba vnějšího válce a krycí trubky

#### 2.4.4 Montáž

Všechny ty již zmínované díly se hromadí před montáží (obr.26). V momentě, kdy počet pístnic překročí určené množství, rozjíždí se výroba v montáži a hotové tlumiče jsou umístěny do zásobníku pojmenovaném Expedice. Je také nutné nastavit parametry výroby tak, aby zde byla minimální zásoba, ale současně nebyla ohrožena plynulost výroby v úseku montáže. V praxi to znamená, že od momentu kdy spustíme výrobu finálního sestavování tlumiče až do ukončení simulovaného procesu, musí být v zásobníku před montáží dostatečný počet všech potřebných komponent.



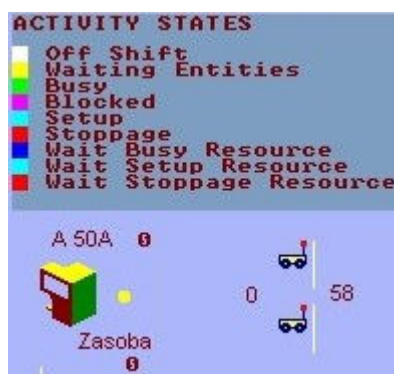
Obrázek 26 Úsek montáže

### 2.4.5 On-line informace z hlavního okna

V hlavním okně jsou v různých formách zobrazovány informace o běhu simulace.

#### 2.4.5.1 Legenda pracovních stavů stroje

Na obr. 27 je legenda možných stavů, které stroje v průběhu simulace mohou nabývat. Kroužek vedle stroje má ní barvu podle akce vykonávané strojem. Barva kroužku odpovídá akci popsané v legendě. Číslo vedle názvu stroje ukazuje aktuální počet kusů, které jsou zpracovávány. Číslo pod strojem zobrazuje počet kusů v kritické zásobě. Čísla po stranách vozíkových drah zobrazují aktuální počet kusů ve vozících.



Obrázek 27 Legenda možných stavů stroje, počet rozpracovaných dílů



### 2.4.5.2 Kolá ový graf

Protože Witness ikonu kolá ového grafu neumož ůje zv ťšovat, byla vykreslena v samostatném okn ě a její legenda byla ponechána v hlavním okn ě (obr. 28). Graf ukazuje aktuální procentuální pom ěr jednotlivých komponent v zásob ě p ěd montáží.



Obrázek 28 Kolá ový graf

### 2.4.5.3 Zobrazování statistických údaj

- V hlavním statistickém okn ě (obr.29) jsou zobrazovány údaje:
  - Kone n ě po et kus ě aktuáln ě vyráb ěné s ěrie, p ě i tený k u ů vyrobeným s ěriím.
  - Kapacita p ěpravovacích vozík
  - Po et p ěstnic ve výrob ě až po et pracovních válc ě ve výrob ě, jsou množství rozpracovaných díl ě, které vstoupili do výroby ale ješt ě nejsou v zásobníku p ěd montáží.
  - Po et p ěstnic p ěd montáží až po et pracovních válc ě p ěd montáží, zobrazují množství jednotlivých díl ě v zásobníku p ěd montáží.
  - Pr ě m ěrná rozpracovanost p ěd montáží je pr ě m ěrné množství všech kus ě p ěd montáží v dob ě simulace.
  - Po et hotových kus ě, je po et hotových tlumi ě p ěpravených k expedici.
- Pomocn ě informacn ě okno (obr. 30) poskytuje informace o po tech díl ě, které ješt ě čekají na vstup do výroby. Tyto informace jsou platné pouze v p ě ípad ě, že zobrazované hodnoty mají jednozna n ě klesající charakter.

Bude vyrobeno:	22 00	kusu
Prepravuje se po:	1 00	kusech
Pocet pistnic ve vyrobe:	0	kusu
Pocet krycich trubek ve vyrobe:	0	kusu
Pocet vnejsich valcu ve vyrobe:	0	kusu
Pocet pracovnich valcu ve vyrobe:	0	kusu
<b>Pocet pistnic pred montazi:</b>	<b>0</b>	<b>kusu</b>
<b>Pocet krycich trubek pred montazi:</b>	<b>0</b>	<b>kusu</b>
<b>Pocet vnejsich valcu pred montazi:</b>	<b>0</b>	<b>kusu</b>
<b>Pocet pracovnich valcu pred montazi:</b>	<b>0</b>	<b>kusu</b>
Prumerna rozpracovanost pred montazi:	1272	kusu
<b>Pocet hotovych kusu:</b>	<b>22 00</b>	

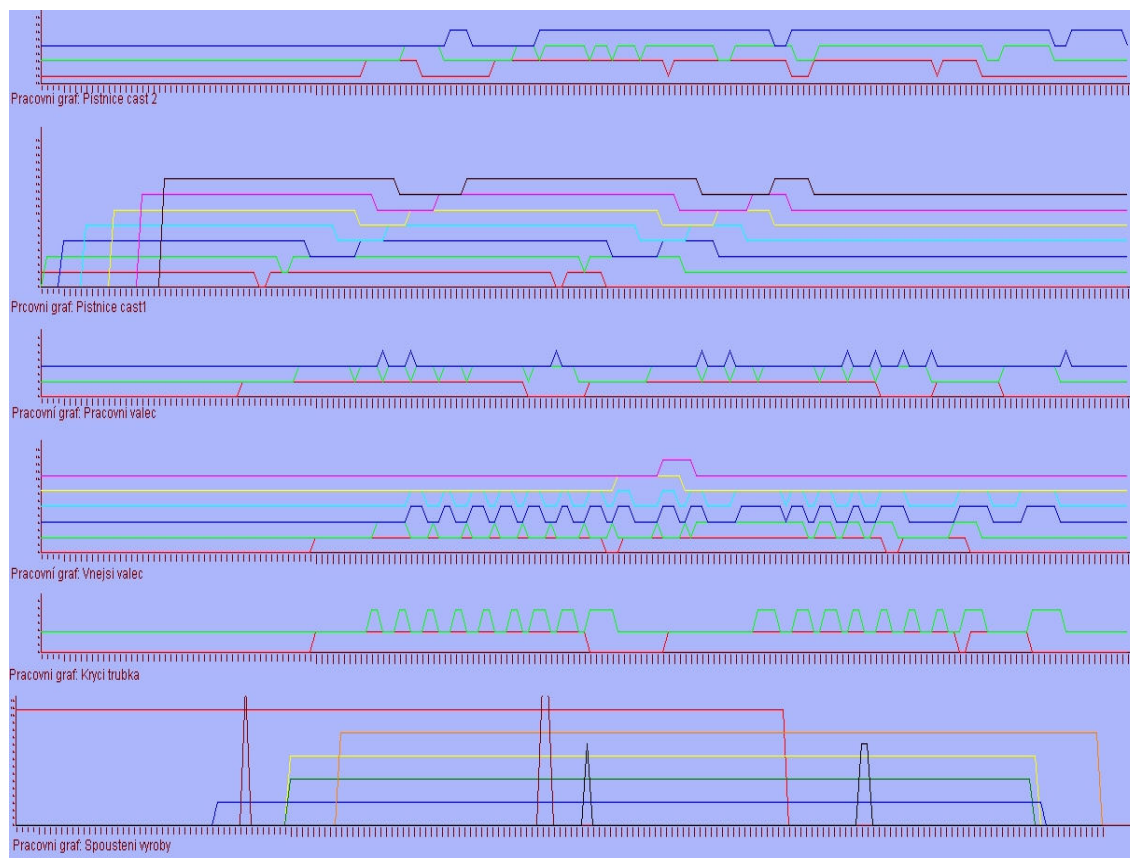
Obrázek 29 Hlavní statistické okno

Ze série 3 vstoupí do výroby: 138 pistnic		
Ze série 1 vstoupí do výroby: 2		
79	141	475
Trubek	Vnej. V.	Prac. V.

Obrázek 30 Pomocní statistické okno

#### 2.4.6 Okno pracovních graf

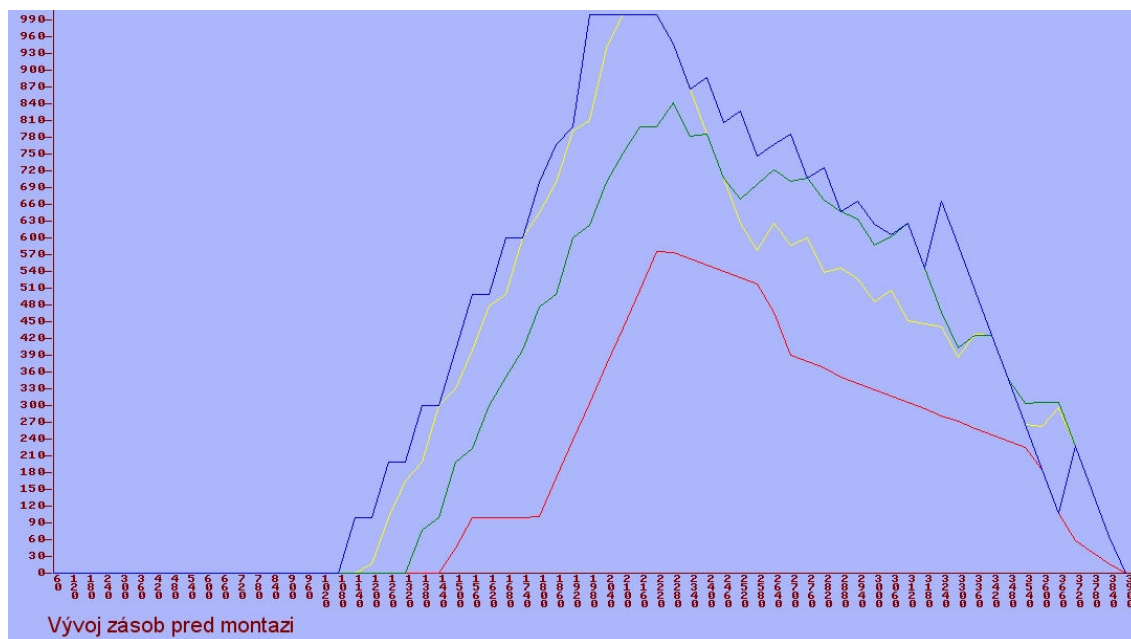
Zde je postupně zobrazována činnost jednotlivých strojů v průběhu simulace (obr. 31). V případě, že stroj pracuje je proměnné, která ho v grafu zastupuje, přirazena konstanta. V moment, kdy stroj nepracuje, je proměnné přirazena hodnota zmenšená o dvojku. Úsek pístitnic je rozdělen do dvou grafů, protože witness dokáže do samostatného grafu vykreslit pouze sedm proměnných. Pracovní graf s názvem spouštění výroby zobrazuje činnost jednotlivých výrobních celků a jsou v něm zaznamenány i momenty nástupu nových sérií. Hodnoty byly sbírány každých 20 minut v průběhu simulace. Tyto grafy slouží jako zdroje dat pro Ganttovi diagramy a podrobněji budou popsány v kapitole Optimalizace (2.5.8).



Obrázek 31 Pracovní grafy

### 2.4.7 Graf rozpracovanosti

V samostatném okně je zobrazován vývoj počtu jednotlivých druhů dílů v zásobě před montáží (obr. 32). Hodnoty jsou sledované každou hodinu výrobního procesu. Barvy jednotlivých křivek odpovídají legendě koláčového grafu.



Obrázek 32 Vývoj zásoby před montáží.

Legenda:

( červená – pístnice, zelená – vnější válec, žlutá – krycí trubka, modrá- pracovní válec )

#### 2.4.8 časové okno

časové okno zobrazuje pracovní časy jednotlivých strojů. Dále se v něm zaznamenávají důležité okamžiky výroby (obr. 33). Všechny zobrazované hodnoty jsou v minutách (základní simulací jednotkou byla zvolena 1 minuta).

<b>Pístnice:</b>		Druhá série pístnic spustena v case: <b>794.87</b>	
Prac. cas MOD 350A:	<b>0.2985</b>	Třetí série pístnic spustena v case: <b>1864.57</b>	
Prac. cas Kalení:	<b>0.6112</b>	Výroba pracovního valce zahajena v case: <b>723.55</b>	
Prac. cas BB 10 průměr:	<b>1.0232</b>	Výroba vnějšího valce a krycí trubky zahajena v case: <b>990.84</b>	
Prac. cas Cobry:	<b>1.4628</b>	Zahajeni výroby na montazi v case: <b>2240.63</b>	
Prac. cas A 20B:	<b>0.5520</b>	Spuštění výroby vnějšího valce pri nizkem mnozství před montazi v case: <b>2040.56</b>	
Prac. cas UPVV 12,5:	<b>0.1747</b>	Spouštění výroby krycí trubky pri nizkem poctu před montazi v case: <b>2226.57</b>	
Prac. cas BB10 chrom:	<b>1.1084</b>	Druhá série vněj. valce krycí trubky spustena v case: <b>2040.10</b>	
Prac. cas SF 50 B:	<b>0.5243</b>	Třetí série vněj. valce krycí trubky spustena v case: <b>3036.35</b>	
Prac. cas TT 40:	<b>0.8689</b>	Druhá série pracovního valce spustena v case: <b>1755.60</b>	
Prac. cas TT 50:	<b>1.0059</b>	Třetí série pracovního valce spustena v case: <b>3001.60</b>	
<b>Válec pracovní:</b>			
Prac. cas A 50A:	<b>1.1878</b>		
Prac. cas SV 18RA:	<b>1.0027</b>		
Prac. cas DC3/C:	<b>0.1058</b>		
<b>Valec vnější:</b>			
Prac. cas 91-A11 (valec) + Trubex 1500:	<b>1.0368</b>		
Prac. cas SPT 16NC:	<b>1.5340</b>		
Prac. cas Tajmac 510:	<b>1.2075</b>		
Prac. cas DC3/C:	<b>0.2264</b>		
Prac. cas Engineering:	<b>1.6693</b>		
Prac. cas Robot:	<b>1.2535</b>		
<b>Krycí trubka:</b>			
Prac. cas 91-11 (trubka) + Trubex 1500:	<b>1.1256</b>		
Prac. cas SV18RA (trubka):	<b>0.5285</b>		

Obrázek 33 časové okno

## 2.5 Optimalizace

Pro optimalizaci bylo klíčové určit optimalizační proměnné a sestavení účelové funkce (minimalizace). Vycházelo se z výroby pístnic a podle zadaných optimalizačních parametrů jsou do výrobního procesu vtahovány další výrobní celky. Byly zavedené proměnné pro spouštění procesu, jejichž algoritmy se nacházejí v zásobníku kooperace (tab. 4) a zásobníku Zásoba před montáží (tab. 5). Konkrétní hodnoty optimalizačních proměnných lze mít v záložce Initialize Action.

<i>Proces</i>	<i>Rozpětí spouštění výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	100 – 400
Výroba vnějšího válce a krycí trubky	400 - 800

Tabulka 4 Optimalizační proměnné 1 - kooperace

<i>Proces</i>	<i>Rozpětí spouštění výroby (kusy)</i>
Výroba na montáži	400 - 800
První opakování pracovního válce	700 - 1000
První opakování vnějšího válce a krycí trubky	700 - 1000

Tabulka 5 Optimalizační proměnné 2 – zásoba před montáží

### 2.5.1 Účelová funkce

Účelová funkce byla sestavena podle technických faktorů :

- Minimální čas.
- Minimální množství dílů před zásobou.
- Penalizace v případě, že v průběhu výroby na montáži, v zásobníku před montáží chybí díl.

#### Algoritmus 3 Účelová funkce

RETURN navrat + 10 \* sankce + AENTS (Montaz.Zas\_montaz) / 4

Návrat je roven času v kterém do expedice půjde poslední vyrobený kus. Sankce reprezentuje penalizaci. Ukázalo se vhodné desetinásobným zvětšením její hodnoty zvýšit váhu sankce a naopak byla čtyřikrát snížena váha průměrného počtu dílů v zásobníku před montáží.

## 2.5.2 Optimalizace metodou Six sigma

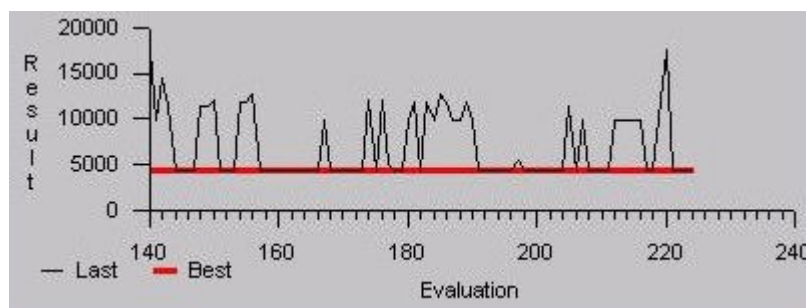
Z obrázku 34 je patrné, že optimalizace trvala 4 hodiny 20 minut a 51 sekund (CPU 2,8GHz Intel Xeon). Nejlepší nalezená hodnota ú elové funkce je 4303,301. V tabulce 6 jsou uvedené hodnoty optimaliza ních prom nných. Obrázek 35 znázor uje kolísání hodnot ú elových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou.



Obrázek 34 Informa ní okno optimalizace metody Six sigma

<i>Proces</i>	<i>Spoušt ní výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	300 (k)
Výroba vn jšího válce a krycí trubky	700 (k)
Výroba na montáži	700 (M)
První opakování pracovního válce	800 (M)
První opakování vn jšího válce a krycí trubky	800 (M)

Tabulka 6 Hodnoty optimálních optimaliza ních prom nných  
(K) ... po et kus v zásobníku kooperace  
(M) ... po et kus v zásobníku zásoba p ed montáži

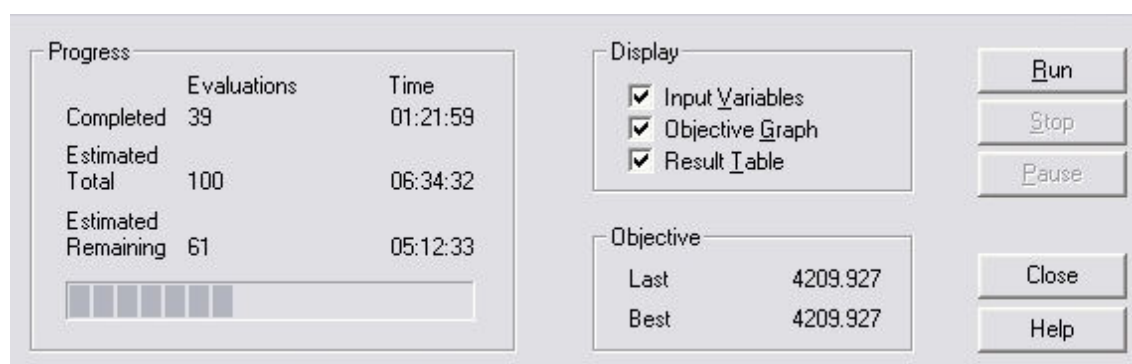


Obrázek 35 Vývoj výsledk optimaliza ní funkce



### 2.5.3 Optimalizace metodou Hill Climb

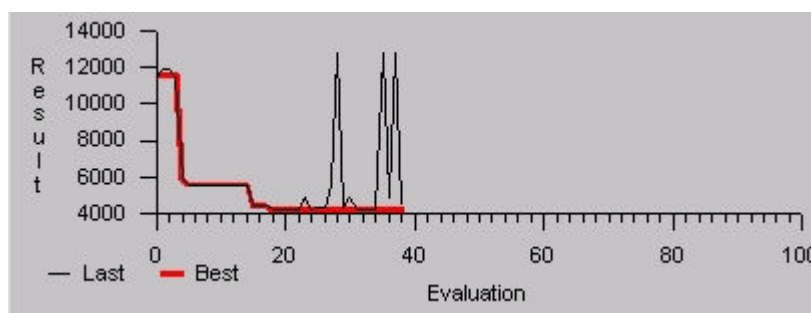
Obrázek 36 ukazuje, že bylo provedeno 39 optimalizačních pokusů za čas 1 hodina, 21 minut a 59 sekund (CPU 1,7GHz Duron). Nejnižší nalezená hodnota účelové funkce je 4209.927. V tabulce 7 jsou uvedené hodnoty optimalizačních proměnných. Obrázek 37 znázorňuje kolísání hodnot účelových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou.



Obrázek 36 Informační okno optimalizace metody Hill Climb

<i>Proces</i>	<i>Spouštění výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	200 (k)
Výroba vnějšího válce a krycí trubky	500 (k)
Výroba na montáži	600 (M)
První opakování pracovního válce	800 (M)
První opakování vnějšího válce a krycí trubky	800 (M)

Tabulka 7 Hodnoty optimálních optimalizačních proměnných

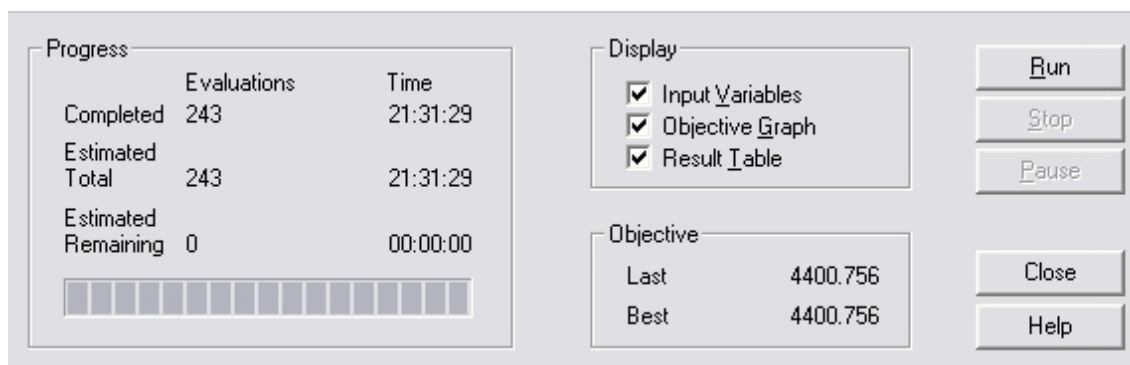


Obrázek 37 Vývoj výsledků optimalizační funkce



## 2.5.4 Optimalizace metodou Min/Mid/Max

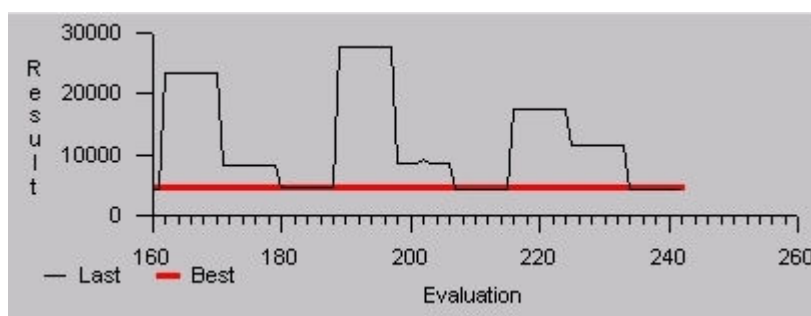
Z obrázku 38 je vidět, že bylo provedených 243 optimalizačních pokusů za 21 hodin, 31 minut a 29 sekund (CPU 1,7GHz Duron). Nejnižší nalezená hodnota úlohové funkce je 4400.756. V tabulce 8 jsou uvedené hodnoty optimalizačních proměnných. Obrázek 39 znázorňuje kolísání hodnot úlohových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou.



Obrázek 38 Informační okno optimalizační metody Min/Mid/Max

<i>Proces</i>	<i>Spouštění výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	400 (k)
Výroba vnějšího válce a krycí trubky	800 (k)
Výroba na montáži	800 (M)
První opakování pracovního válce	800 (M)
První opakování vnějšího válce a krycí trubky	800 (M)

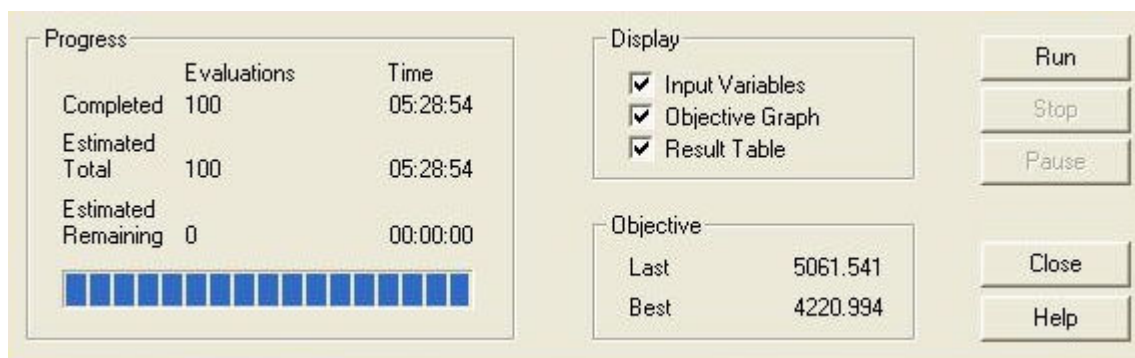
Tabulka 8 Hodnoty optimálních optimalizačních proměnných



Obrázek 39 Vývoj výsledků optimalizační funkce

### 2.5.5 Optimalizace metodou Random Solutions

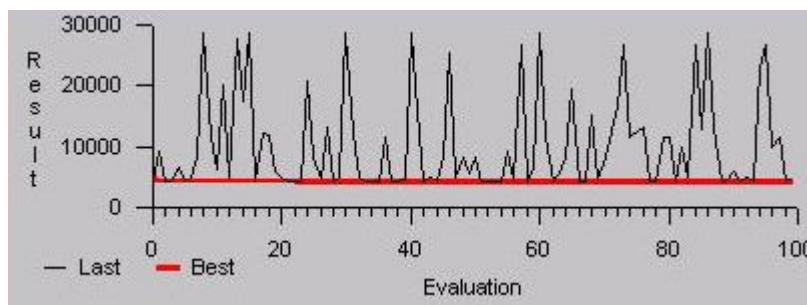
Z obrázku 40 plyne, že optimalizace trvala 5 hodin 28 minut a 54 sekund (CPU 2,8GHz Intel Xeon). Nejlepší nalezená hodnota ú elové funkce je 4220,994. V tabulce 9 jsou uvedené hodnoty optimaliza ních prom nných. Obrázek 41 znázor uje kolísání hodnot ú elových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou.



Obrázek 40 Informa ní okno optimaliza ní metody Random Solutions

<i>Proces</i>	<i>Spoušt ní výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	100 (k)
Výroba vn jšího válce a krycí trubky	500 (k)
Výroba na montáži	600 (M)
První opakování pracovního válce	800 (M)
První opakování vn jšího válce a krycí trubky	800 (M)

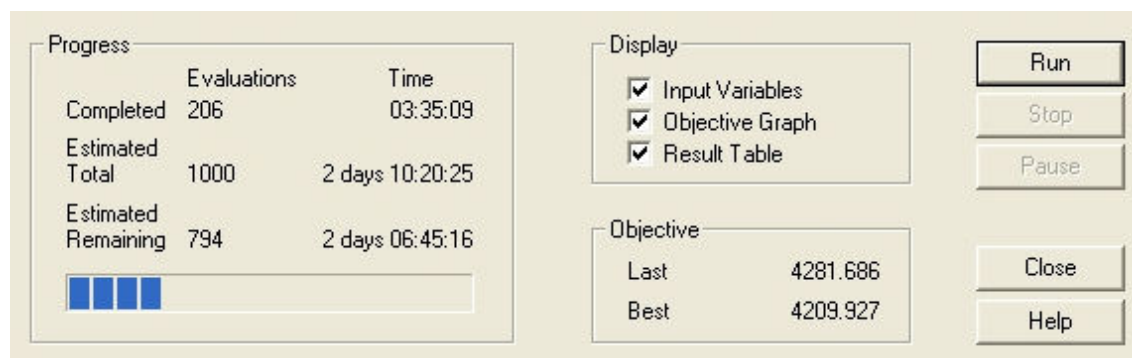
Tabulka 9 Hodnoty optimálních optimaliza ních prom nných



Obrázek 41 Vývoj výsledk optimaliza ní funkce

## 2.5.6 Optimalizace metodou Adaptive Thermostatical SA

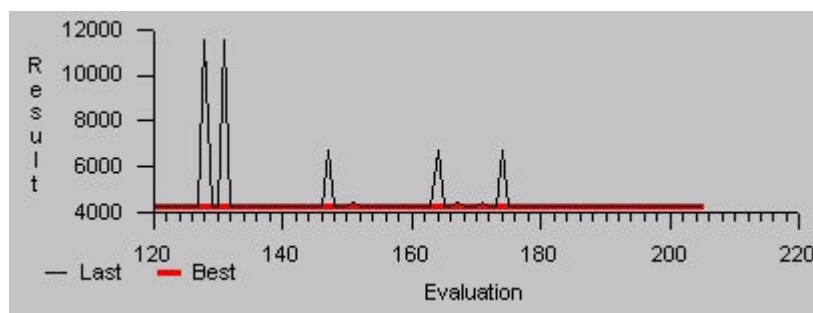
Z obrázku 42 je patrné, že optimalizace trvala 3 hodiny 35 minut a 9 sekund (CPU 2,8GHz Intel ). Nejlepší nalezená hodnota ú elové funkce je 4209.927. V tabulce 10 jsou uvedené hodnoty optimaliza ních prom nných. Obrázek 43 znázor uje kolísání hodnot ú elových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou



Obrázek 42 Informa ní okno optimaliza ní metody Adaptive Thermostatical SA

<i>Proces</i>	<i>Spoušt ní výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	200 (k)
Výroba vn jšího válce a krycí trubky	500 (k)
Výroba na montáži	600 (M)
První opakování pracovního válce	800 (M)
První opakování vn jšího válce a krycí trubky	800 (M)

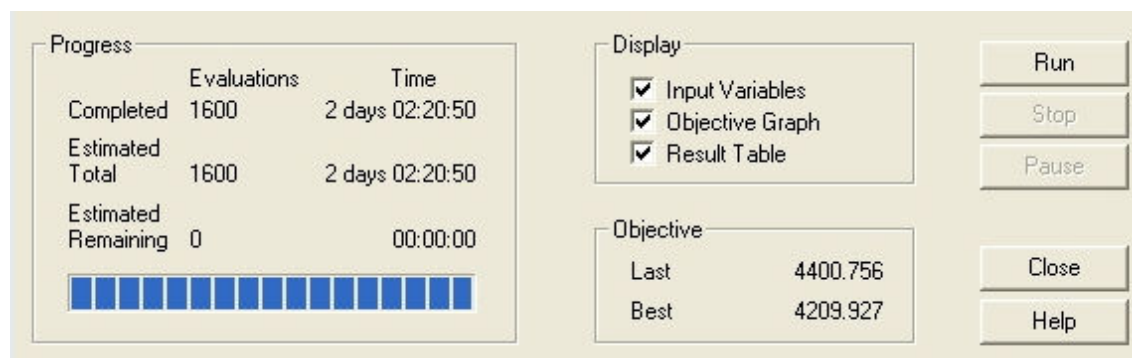
Tabulka 10 Hodnoty optimálních optimaliza ních prom nných



Obrázek 43 Vývoj výsledk optimaliza ní funkce

### 2.5.7 Optimalizace metodou All Combinations

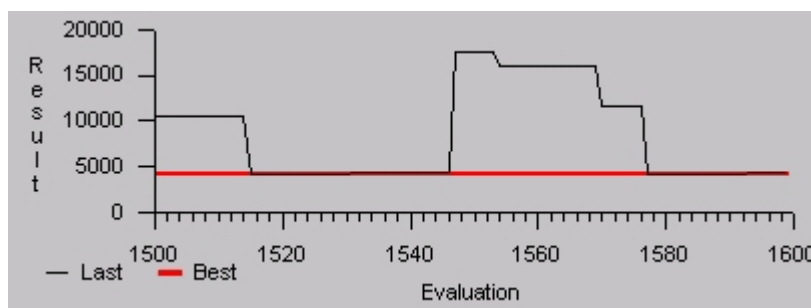
Z obrázku 44 plyne, že optimalizace trvala 2 dny 2 hodiny 20 minut a 50 sekund (CPU 2,8GHz Intel Xeon). Nejlepší nalezena hodnota ú elové funkce je 4209.927. V tabulce 11 jsou uvedené hodnoty optimaliza ních prom nných. Obrázek 45 znázor uje kolísání hodnot ú elových funkcí v porovnání s nejnižší nalezenou hodnotou



Obrázek 44 Informa ní okno optimaliza ní metody All Combinations

<i>Proces</i>	<i>Spoušt ní výroby (kusy)</i>
Výroba pracovního válce	200 (k)
Výroba vn jšího válce a krycí trubky	500 (k)
Výroba na montáži	600 (M)
První opakování pracovního válce	900 (M)
První opakování vn jšího válce a krycí trubky	900 (M)

Tabulka 11 Hodnoty optimálních optimaliza ních prom nných



Obrázek 45 Vývoj výsledk optimaliza ní funkce

## 2.5.8 Zhodnocení optimalizace

Optimalizace byla prováděna na dvou počítačích.

- AMD Duron 1,7GHz, 256 MB RAM
- Intel Xeon 2,8GHz, 2GB RAM

Dle předpokladů se ukázalo, že při optimalizaci je výkonnost počítače klíčová, protože za stejné časové období dokáže výkonný počítač prošetřit více kombinací a tím podat přesvědčivější výsledky. Aby bylo možné srovnat časovou náročnost samotných optimalizačních algoritmů, byli získané výsledky přepočítány pro nejvýkonnější počítač. V tabulce 12 je uvedené srovnání jednotlivých algoritmů doplněné o další, pro výrobu důležité parametry.

Metoda	Hill...	SA	All...	Rnd.	Six...	Min...
Účelová funkce	4209	4209	4209	4220	4303	4400
čas optimalizace [hh:mm]	02:08	03:35	2dny2:21	05:29	04:21	13:19
Výr. prac. Válce [ks]	200	200	200	100	300	400
Výr. vn. j. válce a krycí trubky [ks]	500	500	500	500	700	800
Výroba na montáži [ks]	600	600	600	600	700	800
První opakování prac. válce [ks]	800	800	700	800	800	800
První opak. vn. j. válce k kryc. trub.	800	800	800	800	800	800
Průměrná rozpracovanost [ks]	1277	1277	1277	1326	1241	1282
čas výroby [hh:mm]	64:50	64:50	64:50	64:50	66:32	68:00

Tabulka 12 Výsledky optimalizace

V tabulce 13 jsou uvedené hodnoty pro spouštění klíčových procesů, které podle účelové funkce určil optimizer programu Witness jako optimální.

Komentář k hodnotám v tabulce 13:

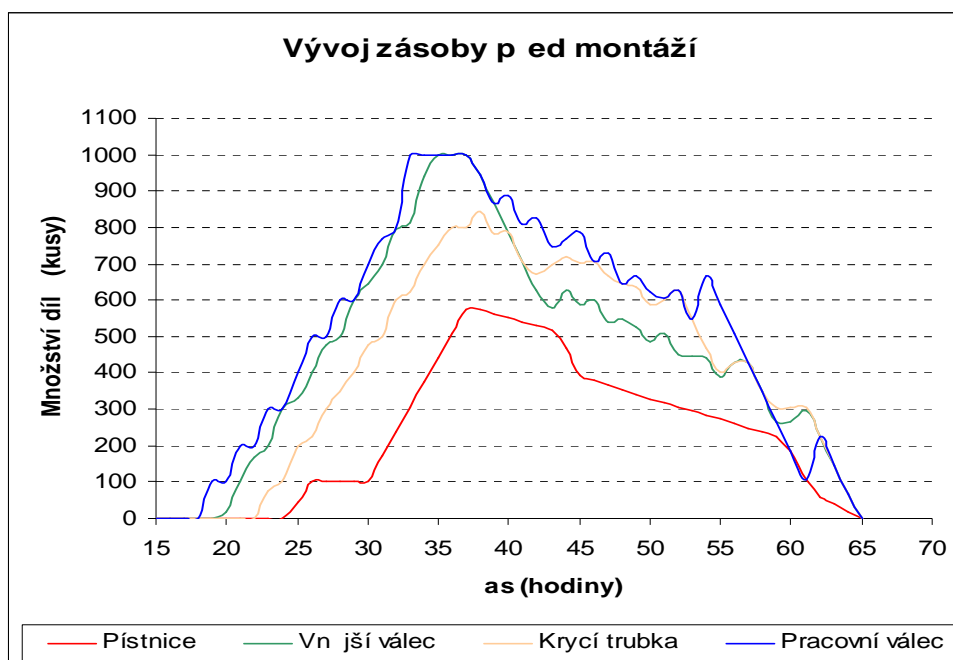
Výroba pracovního válce bude zahájena v moment, kdy do kooperace odejde dvoustý kus pístnice, což bude 12hodin a 3 minuty po zahájení výroby pístnic. Podobně bude zahájena výroba vnějšího válce a krycí trubky v okamžiku, kdy do kooperace odejde pátý kus pístnice (16hodin a 30 minut po zahájení výroby pístnic). Po devítadvaceti hodinách a šestnácti minutách se začne vyrábět druhá série pracovního válce, tj. v moment, kdy v zásobě před montáží dojde k poklesu zmiňovaných dílů pod počet 800 kusů. Podle očekávání to vychází tak, že nová série se začne vyrábět okamžitě po ukončení předchozí. Obdobně je spouštěna i třetí série pracovního válce

a druhá a třetí série vnějšího válce a krycí trubky. Po 37 hodinách a 21 minutách je v zásobě před montáží dostatečné množství všech dílů, aby kompletizace tlumičů probíhla bez přerušení z důvodu nedostatku dílů a proto dochází k zahájení výroby před montáží.

	Počet kusů	čas [hh:mm]
<i>Výroba pracovního válce</i>	200	12:03
<i>Výroba vnějšího válce + krycí trubky</i>	500	16:30
<i>Druhá série prac. válce</i>	800	29:16
<i>Druhá série vnějšího válce + krycí trubky</i>	800	34:00
<i>Zahájení výroby na montáži</i>	600	37:21
<i>Třetí série prac. válce</i>	800	50:00
<i>Třetí série vnějšího válce + krycí trubky</i>	800	50:36

Tabulka 13 Klíčové hodnoty pro spouštění výroby

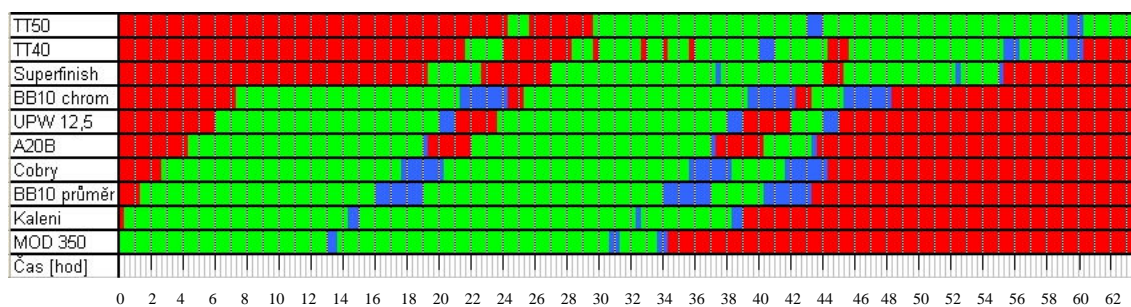
V případě, že se spouštění jednotlivých výrobních celků bude realizovat podle hodnot uvedených v tabulce 13, budou se díly před montáží hromadit podle grafu na obrázku 46.



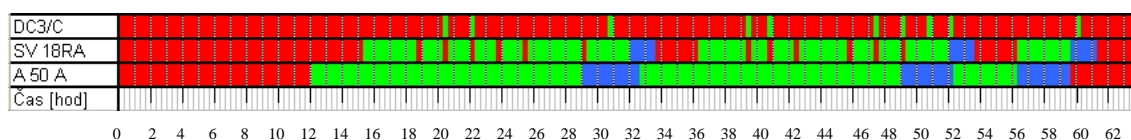
Obrázek 46 Zásoba před montáží

Na základ pracovních graf zmi ovaných v kapitole 2.4.6 byli zkonstruovány následující Ganttovi diagramy (obr 47 – obr 51).

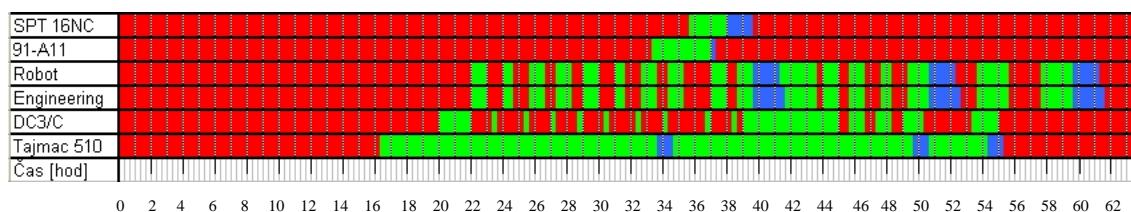
Legenda: **stroj pracuje**, **stroj se se izuje**, **stroj nepracuje**.



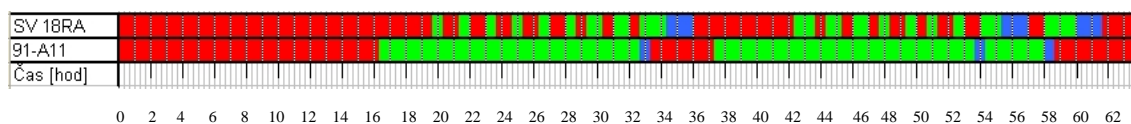
Obrázek 47 Úsek pístnic



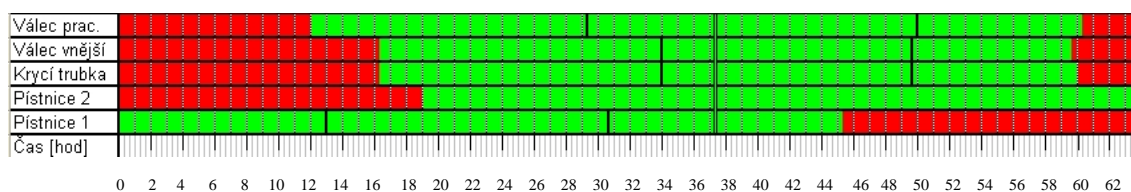
Obrázek 48 Úsek pracovního válce



Obrázek 49 Úsek vn jšího válce



Obrázek 50 Úsek krycí trubky



Obrázek 51 Pr b h výroby v jednotlivých úsecích



Je potřeba upozornit na to, že do diagramu byli zakresleny hodnoty bez ohledu na náběh výroby. Z toho plyne, že v částech diagramu před prvním pracovním úsekem dojíždí předchozí série a rovněž po posledním seřízení se předpokládá náběh nové série výrobků.

Na obrázku 51 je znázorněn průběh výroby v jednotlivých celcích a to tak, že v moment kdy vstoupí do výroby daného úseku první díl, považuje se výroba za „pracující“ (zelená barva). V moment, kdy daný výrobní celek opustí poslední zhotovený díl považuje se za „nepracující“ ( červená barva). Zvýrazněný časový oddělová znamená zahájení nové série dílu. Zvýrazněn přes celý diagram zobrazuje čas, ve kterém byla spuštěna výroba na montáži.

Pro lepší znázornění byl úsek pístnic rozdělen na dvě části. Pístnice1 zobrazují výrobu v moment, kdy do stroje MOD 350 přijde první díl až do okamžiku kdy poslední díl poslední série opustí stroj BB10 chrom. Pístnice2 signalizují výrobu od doby kdy do stroje SF 50B (superfinish) přijde první díl až do okamžiku, kdy poslední díl opustí stroj TT50.

### 2.5.9 Diskuse výsledků optimalizace

Optimalizace v programu Witness se ukázala jako nesmírná úspora času stráveného experimentováním s modelem, což ale neznamená, že není časově náročné. Na optimalizaci je potřeba vyhradit si dostatek času, aby bylo možné provést nalezené optimum pomocí vícero optimalizačních algoritmů. Klíčovým faktorem při optimalizaci je vhodné zvolení optimalizačních parametrů především jejich množství. K tomu je potřeba co možná nejvíce rozumět simulované problematice, protože i sebelepší model může kvůli nevhodným optimalizačním parametrům vykazovat značné odchylky od reálných optimálních hodnot. Je potřeba sledovat, jestli se optimální hodnoty nenacházejí na okraji zadaného optimalizačního rozpětí.

Při optimalizaci popisovaného modelu bylo nejdříve zavedeno deset optimalizačních proměnných. V průběhu optimalizací, kvůli odlaďování programu (verifikaci), se ukázali některé proměnné jako nadbytečné. Protože od jisté hodnoty neměly vliv na hodnotu účelové funkce byli nahrazené konstantou.



Jak plyne z tabulky 12, nejlepších výsledků dosáhla metoda Hill Climb. Jelikož má tato metoda sklon k zacyklení, je potřebné pro kontrolu spustit i jiný optimalizační algoritmus. Po spuštění optimizeru se standardně nabízí simulované žíhání (Adaptive Thermostatical), které rovněž dosáhlo druhý nejlepší výsledek. Naopak metody Random Solutions, Min/Mid/Max a Six sigma nenašli nejnížší hodnotu účelové funkce, která byla potvrzena metodou All Combinations.

### 3 Závěr

Úkolem diplomové práce byla optimalizace výroby s cílem snížení mezioperačních zásob. Ukázalo se, že vytvořit vlný model konkrétní výroby je krom jiného asově velice náročné, protože i zdánliv nepatrný zásah do struktury už vytvořeného modelu, může vyvolat sérii nutných úprav, které následně vyžadují další verifikaci modelu. Nezastupitelnou roli zde hrají zkušenosti, které umožní předvídat vzniklé situace a tím šetřit energii, jak tvůrci modelu, tak budoucímu uživateli.

Nepodařilo se vytvořit univerzální model, který by byl použitelný v každodenním provozu. Nicméně si na základě této diplomové práce můžeme vedení firmy BRANO group udělat představu o tom, jak byla řešena problematika optimalizace v jiných provozech (řešební část diplomové práce). Na základě zhotoveného modelu (experimentální část) lze usuzovat, co vše je zapotřebí k optimalizaci procesu a jaké výstupy lze očekávat.

Do budoucna je doporučeno model rozšířit o další série výroby, což umožní komplexněji se podívat na celý proces a tím získat užitečné nástroje na řešení problému s náročným řízením výroby. Pro zvýšení validity modelu, by bylo vhodné vytvořit i menší modely, které by simulovali činnost jednotlivých částí výroby (pístnice, pracovní válec, vnější válec spolu s krycí trubicí a montáž tlumiče). Tím by se získali dílčí výsledky a ty by byly exportovány do hlavního modelu. Zde by se realizovala optimalizace výroby podle potřeby na určený časový interval (týden, měsíc...). Výhoda je v tom, že změny ve výrobě by se týkaly jen dílčích modelů a stávající model by nebyl komplikován víc než je nezbytně nutné. Je ale docela možné, že při realizování této myšlenky, by se předestírající řešení ukázalo jako nerealizovatelné.

Praxe a zkušenosti mají nevyčíslitelnou hodnotu.

## 4 Použitá literatura

- [1] BUTOROVÁ, A. *Optimalizácia organizácie konfeknej dielne s využitím programového vybavenia Witness*. DP TUL 2004
- [2] HANTA, V. *Modelování a optimalizace více produktových vsádkových procesů*. Konference Witness 2004, Kozov
- [3] K AŽÍK, M. *Simulácia dopravníkovej techniky prevádzajúca podvozky produktov VW Polo a VW*. Konference Witness 2004, Kozov
- [4] KOVAČÍK, V. *Optimalizace po adí plnění požadavků pomocí Witness optimizéru*. Konference Witness 2004, Kozov
- [5] K S, Z.; GLOMBÍKOVÁ, V.; HALALSOVÁ, A. *Simulace výrobních systémů*. Liberec: TUL, 2002. ISBN 80-7083-642-3
- [6] KVASNIKA, V.; POSPÍCHAL, J.; TINO, P.: *Evoluční algoritmy*. STU, Bratislava, 2000. ISBN 80-227-1377-5
- [7] URABAN, P. ; HAVLÍK, R. *Výběr vhodného optimalizačního algoritmu*. Konference Witness 2004, Kozov

Internetové adresy:

- [8] Brano group [Cit.2005.5.2]  
<[www.brano.cz](http://www.brano.cz)>
- [9] *Evoluční algoritmy* [Cit.2005.13.1]  
<[http://www.kod.vslib.cz/ucebni\\_materialy/PSI/texty/def\\_sim-6.htm](http://www.kod.vslib.cz/ucebni_materialy/PSI/texty/def_sim-6.htm)>
- [10] KANBAN [Cit.2005.5.2]  
<[http://www.dynamicfuture.cz/cs/pzp\\_kanban.php](http://www.dynamicfuture.cz/cs/pzp_kanban.php)>
- [11] Optimalizace v tiskovém průmyslu [Cit.2005.16.1]  
<[http://www.dynamicfuture.cz/cs/pzp\\_tprum.php](http://www.dynamicfuture.cz/cs/pzp_tprum.php)>
- [12] Případová studie. Použití dynamické simulace v ŽDB a.s. [Cit.2005.12.3]  
<[http://www.humusoft.cz/pub/witness/syst9903/sim\\_rp.htm](http://www.humusoft.cz/pub/witness/syst9903/sim_rp.htm)>
- [13] Sada nástroj WITNESS [Cit.2005.15.2]  
<<http://www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm>>
- [14] WITNESS Optimizer [Cit.2005.16.1]  
<[http://www.lanner.com/products/simulation\\_suite/witness\\_optimizer.php](http://www.lanner.com/products/simulation_suite/witness_optimizer.php)>
- [15] WITNESS. Využití simulačních metod pro podporu manažerského rozhodování [Cit.2005.12.3]  
<[http://www.humusoft.cz/pub/witness/syst9903/sim\\_rp.htm](http://www.humusoft.cz/pub/witness/syst9903/sim_rp.htm)>

**Příloha .** – model v programu Witness 2004

(formát mod, avi, umístěno na CD)

